



**Universidade Federal do Paraná**  
**Programa de Pós-Graduação Lato Sensu**  
**Engenharia Industrial 4.0**



André Vicente Vieira Godoi  
Valderi Aparecido de Oliveira

## **Implementação de Robô Colaborativo no Processo de Aplicação de Selante**

**CURITIBA**  
**2021**

André Vicente Vieira Godoi  
Valderi Aparecido de Oliveira

## **Implementação de Robô Colaborativo no Processo de Aplicação de Selante**

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia Industrial 4.0. Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle

**CURITIBA  
2021**



## RESUMO

O aumento da oferta de novas tecnologias e sistemas de controle nas indústrias ganhou, nos últimos anos, uma proporção tão grandiosa que passou a ser reconhecida como a 4ª Revolução Industrial, ou também chamada de Indústria 4.0. O fato de que tais novas tecnologias e sistemas de controle foram desenvolvidos para serem mais amigáveis e com custos mais reduzidos (se comparados as tecnologias então existentes), criou oportunidades para empresas de menor porte que antes não tinham como automatizar seus processos e/ou controlar sua produção com uso de sistemas informatizados. Além disso, com as novas Leis e Normas Técnicas (NBRs) para equipamentos na indústria o setor industrial de maneira geral se viu pressionado a atualizar seu parque fabril com o objetivo de aumentar a segurança de seus equipamentos. Isto tudo trouxe maior dinamismo para as empresas do ramo industrial, de tal forma que as grandes indústrias do setor observaram aumento da concorrência e forte pressão para redução de seus custos de operação para se manterem competitivas e inovadoras neste cenário de grandes mudanças. A indústria automobilística, acompanhando este movimento, também teve de buscar novas aplicações e oportunidades do uso destas novas tecnologias, como por exemplo o uso de robôs colaborativos (COBOTs). Este Trabalho de Conclusão de Curso visa demonstrar, através do estudo de caso da aplicação real de robótica colaborativa controlada por sistemas integrados de manufatura (MES) numa empresa do setor automotivo, quais foram os maiores benefícios, desafios e resultados de tal aplicação. O fato da robótica colaborativa dispensar, na maioria dos casos, a necessidade de barreiras de segurança e assim permitir que operadores trabalhem próximos aos robôs controlados por sistemas automatizados, exigiu com que as discussões envolvessem visitas técnicas de benchmarking a outras empresas, workshops (internos e externos) com fornecedores de robótica colaborativa e ampla investigação dos requisitos legais aplicáveis. Sendo assim, o projeto foi conduzido seguindo a metodologia EEM (Early Equipment Management) desenvolvida pela mentalidade do WCM (World Class Manufacturing) para proporcionar maior robustez nas tomadas de decisão e no desenvolvimento da solução. Após a conclusão do projeto, foram observados muitos resultados positivos no que se refere aos requisitos legais, aos fatores econômicos, na qualidade do produto, e no desenvolvimento pessoal e tecnológicos ao introduzir o primeiro robô colaborativo na linha de montagem da empresa de produção de

caminhões situada em Curitiba. Este projeto explorou diversos fatores técnicos e organizacionais que, de forma conceitual, viabilizam muitas outras aplicações de automação colaborativa na montagem final de veículos, com o objetivo de que no futuro em breve tenhamos a oportunidade de colocar humanos e robôs trabalhando lado-a-lado na linha de produção e colaborando entre si no processo de montagem de caminhões.

Palavras-chave: Robótica. Colaborativa. Automação. MES. Tecnologia. Inovação. COBOT. EEM. I4.0

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – NOVE PILARES DA INDÚSTRIA 4.0.....	12
FIGURA 2 – CADEIA INTEGRADA .....	13
FIGURA 3 – CINCO CATEGORIAS DA INDÚSTRIA 4.0 .....	16
FIGURA 4 – APLICAÇÃO MANUAL .....	18
FIGURA 5 – PROPOSTAS DE 2 FORNECEDORES PARA CÉLULA ENCLAUSURADA .....	18
FIGURA 6 – SIMULAÇÃO DE COBOT E OPERADOR DIVIDINDO AREA COMUM .....	19
FIGURA 7 – INDÚSTRIA CONECTADA.....	22
FIGURA 8 - PILARES DA INDÚSTRIA 4.0.....	24
FIGURA 9 - INTERNET DAS COISAS .....	25
FIGURA 10 – OS TRÊS "V" DO BIGDATA.....	26
FIGURA 11 – ROBÔ AUTÔNOMO TUG .....	27
FIGURA 12 – ROBÔ COLABORATIVO .....	28
FIGURA 13 – IMPRESSORA 3D .....	29
FIGURA 14 – COMPUTAÇÃO EM NUVEM .....	30
FIGURA 15 – FÁBRICA SIMULADA .....	30
FIGURA 16 - REALIDADE AUMENTADA .....	32
FIGURA 17 – INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS .....	32
FIGURA 18 – CONCEITO DE PAREDE VIRTUAL USADA POR COBOTS .....	41
FIGURA 19 – EXEMPLO DE LINHA DE MONTAGEM COM ROBÔS E HUMANOS LADO A LADO .....	42
FIGURA 20 – DIFERENTES MODOS DE OPERAÇÃO DE UM COBOT .....	43
FIGURA 21 – ASPECTOS DOS ROBÔS COLABORATIVOS .....	44
FIGURA 22 – ROBÔ COLABORATIVO BAXTER .....	47
FIGURA 23 – ROBÔ BAXTER E OPERADOR TRABALHANDO EM CONJUNTO NA PRODUÇÃO .....	48
FIGURA 24 – INSTALAÇÃO DO ROBÔ COLABORATIVO NA EMPRESA LINATEX.....	49
FIGURA 25 – KUKA COBOTS, ADÃO E EVA, NA FÁBRICA DA AUDI, HUNGRIA.....	50

FIGURA 26 – COMPARAÇÃO INTERNACIONAL 2017 .....	53
FIGURA 27 – CONCEITO BÁSICO EEM (Early Equipment Management) .....	55
FIGURA 28 – EXEMPLO DE DESING REVIEWS.....	57
FIGURA 29 – PADRONIZAÇÃO EEM (Early Equipment Management) .....	58
FIGURA 30 – INDICADORES DO PILAR EEM (OTIF) .....	59
FIGURA 31 – EXEMPLO DE PROJETO COM OTIF IDEAL .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
FIGURA 32 – EXEMPLO DE PROJETO COM OTIF RUIM .....	60
FIGURA 33 – O PILAR EEM NO WCM .....	61
FIGURA 34 – COOPERAÇÃO ENTRE DESIGNER, MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO .....	62
FIGURA 35 – ALINHAMENTO DO EEM COM OS QUATRO MARCOS DE MATURIDADE DO WCM.....	62
FIGURA 36 – OS PARCEIROS ESSENCIAIS DO EEM .....	64
FIGURA 37 – O QUE AS ORGANIZAÇÕES TENDEM A OBTER SEM EEM.....	64
FIGURA 38 – O VERDADEIRO CUSTO DAS DECISÕES .....	65
FIGURA 39 – ONDE OS CUSTOS SÃO COMPROMETIDOS.....	67
FIGURA 40 – A ROTA EEM PARA O START-UP VERTICAL DESDE O PRIMEIRO DIA	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
FIGURA 41 – CINCO PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DO WCM	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
FIGURA 42 – CONTRIBUIÇÃO POTENCIAL DO EEM's.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
FIGURA 43 – BASE DE CONHECIMENTOS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
FIGURA 44 – EFEITO ANTES E DEPOIS EEM.....	70
FIGURA 45 – SETE ETAPAS DA METODOLOGIA EEM .....	72
FIGURA 46 – PLANEJAMENTO DA ALTERAÇÃO INDUSTRIAL (STEP 1) .....	73
FIGURA 47 – PROJETO DA AUTOMAÇÃO DA APLICAÇÃO DO SELANTE DO PAINEL DE INSTRUMENTOS. ....	74
FIGURA 48 – CONCEITO DO EEM ESCOLHIDO .....	75
FIGURA 49 – CRONOGRAMA PRELIMINAR BÁSICO DO PROJETO DE AUTIMAÇÃO.....	76
FIGURA 50 – CONCEITO PROPOSTO PARA O PROJETO DE AUTOMAÇÃO .....	78
FIGURA 51 – SIMULAÇÃO VIRTUAL .....	79

FIGURA 52 – ESTUDO DO CONCEITO (ETAPA 2).....	80
FIGURA 53 – REQUISITOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA (MPI's).....	80
FIGURA 54 – FORMULÁRIO DE POSSÍVEIS FALHAS NO PROCESSO .....	82
FIGURA 55 – GRÁFICO DE QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS E CUSTOS DE REPAROS .....	83
FIGURA 56 – SIMULAÇÃO ERGONOMICA ENTRE O PROCESSO MANUAL E AUTOMÁTICO .....	84
FIGURA 57 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ERGONÔMICA .....	85
FIGURA 58 – ORIENTAÇÕES DA ÁREA DE SAÚDE, SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE ..	86
Figura 59 – FORMULÁRIO PADRÃO.....	86
FIGURA 60 – RESUMO DO RESULTADO DA MATRIZ DE DECISÃO.....	88
FIGURA 61 – ETAPA 3.....	89
FIGURA 62 – TOMADA DE DECISÃO (ETAPA 3).....	89
FIGURA 63 – HISTÓRICO DE MANUTENÇÕES REALIZADAS EM CÉLULAS ROBÓTICAS CONVENCIONAIS .....	90
FIGURA 64 – REQUISIÇÃO DE ORÇAMENTO.....	91
FIGURA 65 – CERTIFICAÇÕES DOS ROBÔS COLABORATIVOS DA UNIVERSAL ROBOTS .....	93
FIGURA 66 – LOCAL DO WORKSHOP .....	95
FIGURA 67 – ETAPA DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES .....	96
FIGURA 68 – RESULTADO DA MATRIX DE AVALIAÇÃO DE FORNECEDORES .....	97
FIGURA 69 – RESULTADO TÉCNICO E COMERCIAL .....	97
FIGURA 70 – GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE AS MARCAS ( <b>ONROM</b> , <b>UNIVERSAL</b> e <b>KUKA</b> ).....	98
FIGURA 71 – RESULTADO DA MATRIZ APÓS NOVAS RODADAS DE NEGOCIAÇÃO .....	99
FIGURA 72 – DESENVOLVIMENTO DO PROJETO – ETAPA 4 .....	100
FIGURA 73 – CRONOGRAMA PARA EXECUÇÃO DO PROJETO.....	101
FIGURA 74 – ESCOPO DO ROBÔ COLABORATIVO.....	103
FIGURA 75 – SIMULAÇÃO DA CAPACIDADE DO ROBÔ COLABORATIVO .....	103

FIGURA 76 – PROJETO MECÂNICO COM A INCLUSÃO DOS PAINÉIS .....	105
FIGURA 77 – PROJETO MECÂNICO COM A INCLUSÃO DOS PAINÉIS .....	105
FIGURA 78 – TELA DE INTEGRAÇÃO IHM (Interface Homem-Máquina) .....	106
FIGURA 79 – INSTALAÇÃO (ETAPA 5) .....	107
FIGURA 80 – ALTERAÇÕES NO DISPOSITIVO .....	108
FIGURA 81 – COMPARAÇÃO DE LAYOUT (ANTES X DEPOIS).....	109
FIGURA 82 – INSTALAÇÕES DENTRO DO PAINEL .....	109
FIGURA 83 – EQUIPAMENTOS ADICIONADOS PARA O SISTEMA DE COLA .....	110
FIGURA 84 – EQUIPAMENTOS INSTALADOS.....	111
FIGURA 85 – OPÇÕES DE COMANDO E NÍVEIS DE ACESSO .....	112
FIGURA 86 - EEM Step 06 .....	113
FIGURA 87 – PREPARAÇÃO DE INSTRUÇÃO .....	115
FIGURA 88 – PREPARAÇÃO DE ESTAÇÃO VIRTUAL PARA INTEGRAÇÃO .....	116
FIGURA 89 – PREPARAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DE FABRICA (FCS) .....	116
FIGURA 90 – PREPARAÇÃO PARA INTEGRAÇÃO COM SISTEMA ECS.AAS .....	117
FIGURA 91 – INSTRUÇÕES PARA ROBÔ EXECUTAR OPERAÇÃO (AAS).....	117
FIGURA 92 – PREPARAÇÃO DO CANAL DE COMUNICAÇÃO ENTRE ECS.AAS E VD ..	118
FIGURA 93 – PREPARAÇÃO DO PLC .....	119
FIGURA 94 – PREPARAÇÃO DA MATRIZ NAT NO PLC .....	119
FIGURA 95 - Programação do PLC para comunicação com sistema VD .....	120
FIGURA 96 – RASTREAMENTO DA OPERAÇÃO DO ROBÔ VIA SISTEMA FCS .....	121
FIGURA 97 – AVALIAÇÃO DO CLIENTE .....	122
FIGURA 98 – FASE DE ENTREGA DO EQUIPAMENTO - EEM ETAPA 7 .....	123
FIGURA 99 - MELHORIA NA EFICIÊNCIA DE CONSUMO DE SELANTE .....	124
FIGURA 100 - MELHORIA NO ÍNDICE DE FALHAS DE APLICAÇÃO DE SELANTE .....	125
FIGURA 101 - MELHORIA NA PRODUTIVIDADE DA APLICAÇÃO DE SELANTE .....	126
FIGURA 102 - MELHORIA NOS FATORES ERGONÔMICOS DA OPERAÇÃO.....	127
FIGURA 103 - PROCESSO DE RASTREABILIDADE DA OPERAÇÃO .....	128

FIGURA 104 - REPORTAGEM INTERNA DE DIVULGAÇÃO DO PROJETO.....	130
FIGURA 105 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DO SISTEMA DE PRODUÇÃO VPS .....	132
FIGURA 106 - CANVAS PARA PITCHDAY .....	134
FIGURA 107 - KAIZEN PARA REGISTRO DO PROJETO .....	134
FIGURA 108 - CONVITE PARA WORKSHOP .....	135
FIGURA 109 - POSTAGEM SOBRE O PROJETO .....	136
FIGURA 110 - APRESENTAÇÃO DO PROJETO NO PITCHDAY UFPR.....	137
FIGURA 111 - SIMULAÇÃO DE APLICAÇÃO DE COLA EM PARABRISAS (imagem animada) .....	138
FIGURA 112 - PROVA DE CONCEITO DO USO DE COBOT .....	139

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPARATIVO ENTRE ROBÔS INDUSTRIAIS TRADICIONAIS E COLABORATIVOS .....	46
TABELA 2 – EXEMPLOS DE MODELOS DE COBOTs NO MERCADO .....	51

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	12
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA .....	14
1.3. JUSTIFICATIVA.....	15
1.4. HIPÓTESE .....	17
1.5. OBJETIVO .....	20
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
2.1. INDÚSTRIA 4.0 ou 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL .....	21
2.1.1. ORIGEM DA INDÚSTRIA 4.0 .....	23
2.1.2. PILARES DA INDÚSTRIA 4.0.....	24
2.1.2.1. INTERNET DAS COISAS (INTERNET OF THINGS – IoT).....	25
2.1.2.2. BIG DATA .....	25
2.1.2.3. ROBÓTICA AUTÔNOMA .....	27
2.1.2.4. MANUFATURA ADITIVA.....	28
2.1.2.5. COMPUTAÇÃO NAS NUVENS.....	29
2.1.2.6. SIMULAÇÃO.....	30
2.1.2.7. REALIDADE AUMENTADA.....	31
2.1.2.8. INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS.....	32
2.1.3. OS PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0.....	33
2.1.4. BASE DA INDÚSTRIA 4.0 .....	34
2.1.5. INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA INDÚSTRIA 4.0.....	35
2.1.5.1. Automação e Robótica .....	36
2.1.5.2. Tecnologias da Informação e Comunicação .....	37
2.1.5.3. Modelagem e Simulação .....	37
2.1.5.4. Sensores e Atuadores .....	37
2.1.5.5. Computação em Nuvem .....	37
2.1.5.6. Big Data, IdC, IdS, 3DP e outras tecnologias .....	38
2.1.6. A EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 .....	39
2.2. ROBÓTICA COLABORATIVA .....	41
2.2.1. COBOTS .....	41
2.2.2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS .....	42
2.2.3. DIVISÃO DE TAREFAS NA ROBÓTICA COLABORATIVA .....	44
2.2.4. EVOLUÇÃO E POTENCIAL TECNOLÓGICO DA ROBÓTICA COLABORATIVA .....	52



2.2.5. AUTOMAÇÃO CONDUZINDO O FUTURO DA MANUFATURA.....	54
2.3. EEM – GESTÃO ANTECIPADA DE EQUIPAMENTOS .....	55
2.3.1. CONCEITO DA GESTÃO ANTECIPADA DE EQUIPAMENTOS .....	55
2.3.1.1. Indicadores do EEM .....	58
2.3.2. ORIGEM DO EEM NO WCM (World Class Manufacturing) .....	60
2.3.2.1. Os custos ocultos das decisões de investimento .....	65
2.3.2.2. Lidando com o ‘vício da urgência’ .....	66
2.3.2.3. Melhorias que o EEM pode trazer para os Negócios .....	68
2.3.2.4. Benefícios potenciais da adoção da abordagem EEM .....	69
<b>3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>71</b>
3.1. PROJETO PRELIMINAR (STEPS 01 ao 03).....	73
3.1.1. STEP 01 – Planejamento: Alteração Industrial.....	73
3.1.1.1. IPAP.....	73
3.1.1.2. Recursos e Plano Básico.....	74
3.1.1.3. Aprovação do conceito básico.....	76
3.1.2. STEP 02 – Estudo do Conceito .....	79
3.1.2.1. Requisitos do Projeto (MPInfo).....	80
3.1.2.2. P-FMEA .....	81
3.1.2.3. Histórico da qualidade do processo manual.....	83
3.1.2.4. Análise ergonomica do processo manual.....	83
3.1.2.5. Análise de riscos ambientais para conceito automatizado .....	85
3.1.2.6. Processo de Decisão Final do conceito do projeto.....	87
3.1.3. STEP 03 – Detalhamento do escopo.....	89
3.1.3.1. Preparação de Indicadores.....	90
3.1.3.2. Solicitação de Orçamentos (RFQ).....	90
3.1.3.3. Requisitos Legais para conformidade com NR12 .....	92
3.1.3.4. Decisão para escolha do fornecedor e processo de compras.....	94
3.2. PROJETO INTERMEDIÁRIO (STEPS 04 ao 05) .....	100
3.2.1. STEP 04 - Desenvolvimento do equipamento .....	100
3.2.1.1. Detalhamento do escopo e início do desenvolvimento .....	100
3.2.1.2. Desenvolvimento do projeto e revisões.....	102
3.2.1.2.1. Design Review 01.....	102
3.2.1.2.2. Design Review 02.....	104
3.2.2. STEP 05 – Instalação do equipamento.....	106
3.2.2.1. Instalações Mecânicas .....	107
3.2.2.2. Instalações Elétricas.....	109
3.2.2.3. Instalação final e inicialização .....	110
3.2.2.4. Handover I – inicialização e treinamento.....	113

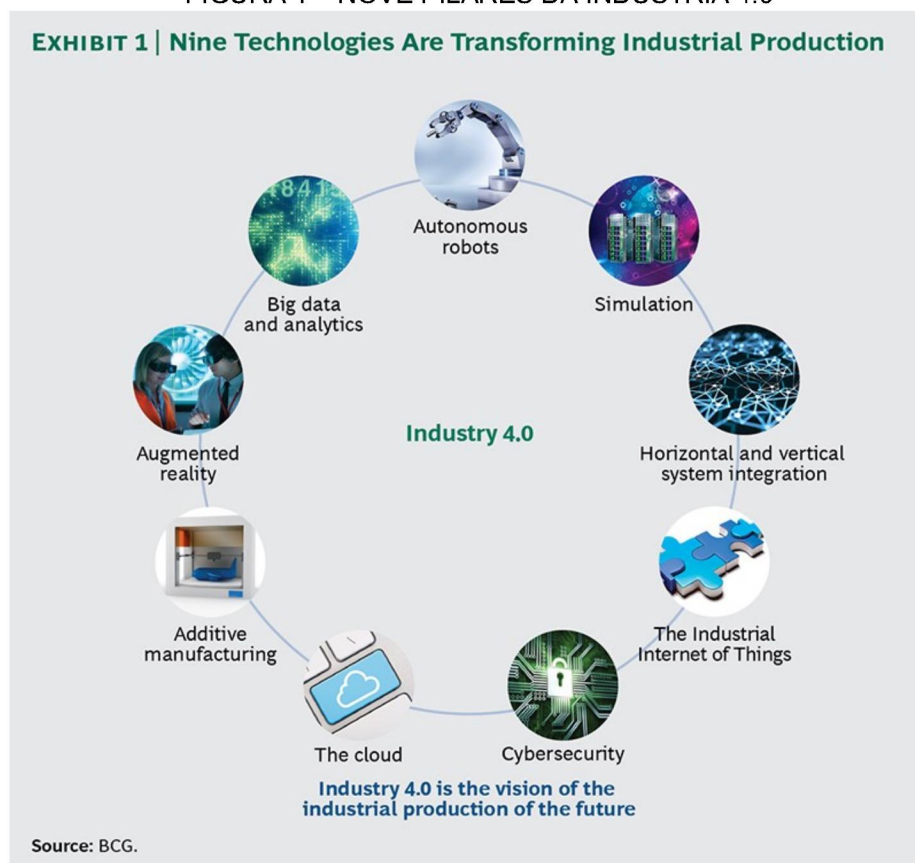
3.3. PROJETO DE DETALHAMENTO (STEPS 06 ao 07) .....	113
3.3.1. STEP 06 – Produção automática para validações e ajustes da solução..	113
3.3.1.1. <i>Validações, ajustes, parametrizações e acompanhamento da produção. ...</i>	114
3.3.1.2. <i>Integração com sistemas MES de controle de fábrica .....</i>	114
3.3.1.3. <i>Handover II – documentação e entrega da solução. ....</i>	121
3.3.2. STEP 07 – SoP Início da produção com processo automatizado.....	122
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>129</b>
4.1. EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA DO TRABALHO COM A ROBÓTICA COLABORATIVA	129
4.2. CULTURA DE INOVAÇÃO E A INDÚSTRIA 4.0 .....	131
4.3. METODOLOGIA EEM NA REVISÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO.....	131
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>133</b>
5.1. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	138
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>140</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

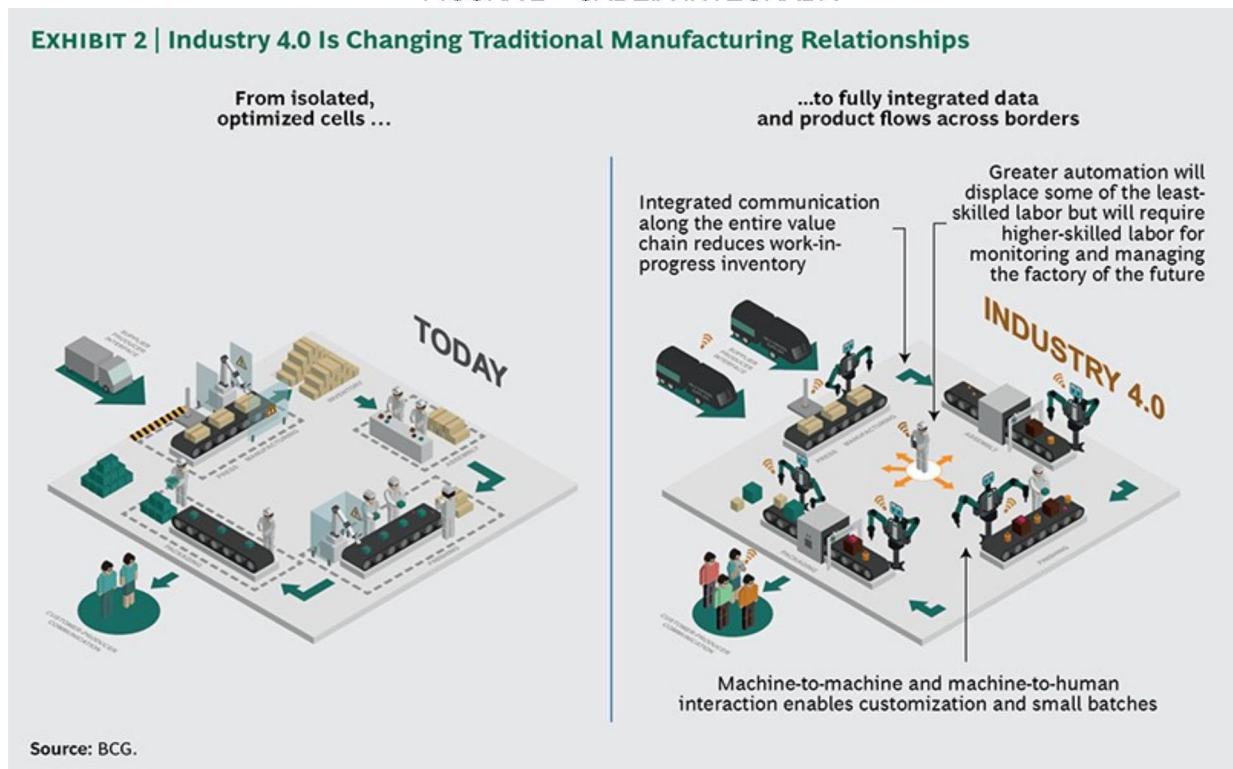
A quarta revolução industrial teve início no plano industrial apresentado na Alemanha em torno de 2011 (M. Hermann, T. Pentek, B. Otto, 2016), e trouxe impactos significativos no mundo todo. Toda a cadeia produtiva, desde o suprimento de matéria-prima passando pela produção e até o consumidor final, passou a adotar os 9 pilares da Indústria 4.0 (ver FIGURA 1) de forma a conectar e integrar processos possibilitando maior nível de automação e melhor gerenciamento de toda a cadeia de valor. (Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Engel P., Harnisch M., Justus J., 2015) (ver FIGURA 2).

FIGURA 1 – NOVE PILARES DA INDÚSTRIA 4.0



Fonte: BCG Boston Consulting Group

FIGURA 2 – CADEIA INTEGRADA



Fonte: BCG Boston Consulting Group

Ainda segundo a Boston Company Group, “as vantagens tecnológicas que formam a fundação da Indústria 4.0 vão remodelar os cenários de negócios e da economia nos próximos 10 a 15 anos”, afetando diretamente com muitos benefícios pelo menos 4 aspectos: Produtividade, Crescimento da Receita, Empregos e Investimentos. (Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Engel P., Harnisch M., Justus J., 2015). Isso faz com que o modelo de negócios da manufatura tradicional esteja mudando e que novos modelos estejam surgindo. A indústria em geral precisa ser ágil e rápida o suficiente para reconhecer e reagir a esses novos desafios competitivos. Segundo um artigo publicado na McKinsey & Company em 2015, estima-se que nos próximos anos de 40% a 50% das máquinas e equipamentos de hoje precisarão passar por atualização ou substituição de forma a se adequar a este novo cenário. (Baur C.; Wee D.; 2015)

No Brasil o processo de adequação do parque fabril para incorporar tais novas tecnologias e princípios, teve as novas Leis trabalhistas e Normas Reguladoras como um fator adicional influenciando na complexidade para atingir os objetivos esperados. Segundo a Confederação Nacional da Indústria, em seu artigo de 2017 intitulado “RELAÇÕES TRABALHISTAS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0” apesar das novas

Leis e Normas promoverem um avanço nas relações trabalhistas, para que continue o avanço das tecnologias da Indústria 4.0 as Normas Reguladoras precisam continuar sendo atualizadas para ter um texto que acompanhe e aborde as novidades desenvolvidas pelas novas tecnologias de maneira a garantir tanto a segurança e saúde dos trabalhadores na interação homem-máquina, bem como os resultados esperados na produtividade das indústrias. (Confederação Nacional da Indústria. Relações trabalhistas no contexto da indústria 4.0 / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília : CNI, 2017)

Neste contexto, o mesmo artigo da CNI cita que o uso de “ robôs colaborativos é travado pela atual legislação” e que “as NRs (Normas Regulamentadoras) vigentes no Brasil obrigam que tais máquinas estejam sempre enclausuradas, anulando os benefícios destes robôs colaborativos”(CNI. Relações trabalhistas no contexto da indústria 4.0. – Brasília: CNI,2017). Assim, ao mesmo tempo que a indústria busca investir para manter-se atualizada tecnologicamente, tem de investir para se adequar as novas regras e regulamentações, por exemplo NR12 sobre segurança em equipamentos e NR17 sobre ergonomia além da Lei nº 13.467, de 13 de julho de 2017 (reforma trabalhista).

## **1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA**

A indústria automobilística em geral busca sempre estar se destacando no que se refere a aplicação de novas tecnologias para aumentar sua produtividade. E o desenvolvimento da automação industrial baseada nos conceitos fundamentais da Indústria 4.0 traz a possibilidade de criar fabricas inteligentes, também chamadas de “smart factories”. Neste conceito, as fabricas inteligentes através da conexão entre produtos, processos e procedimentos tornam-se mais capazes de evitarem interrupções mesmo em cenários mais complexos, fazendo com que humanos e máquinas possam interagir entre si de forma natural (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013)

No Brasil, segundo o que a FIRJAN (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro) publicou em 2016 no seu relatório intitulado “Panorama da Inovação”, apesar da indústria nacional em geral estar numa fase de transição entre o que seria “indústria 2.0”(utilização de linhas de montagem e energia elétrica) para a “3.0”(automação com utilização de eletrônica, robotica e programação), o setor

automotivo é o ramo industrial mais adiantado para receber esta onda tecnológica da Indústria 4.0.(FIRJAN - Panorama da Inovação: Indústria 4.0, 2016). Mesmo assim, há muitos desafios para que este ramo industrial possa avançar rumo a Indústria 4.0. Segundo a Confederação Nacional da Indústria, o grande dinamismo tecnológico demanda que as legislações passem por ajustes rápidos afim de que o país tenha capacidade de aproveitar todo o potencial que a Indústria 4.0 pode trazer frente ao mercado nacional e internacional.

Dentre os pilares da Indústria 4.0, este estudo de caso buscou explorar tanto o conceito de robô autônomo e como a integração de sistemas para explorar a aplicação de robôs colaborativos trabalhando junto a humanos na montagem final de veículos. No que se refere saúde e segurança dos trabalhadores a legislação, mesmo sofrendo ajustes, ainda encontra incertezas e entraves na cultura organizacional de muitas empresas. E isso faz com que a ideia de um robô sendo ativado automaticamente por um sistema e sem barreiras de segurança entre robô e humanos seja tema de discussões e preocupações válidas para entender se tal tipo de aplicação de tecnologia pode ou não ser parte das soluções técnicas para atender futuras necessidades afim de reduzir atividades repetitivas e críticas da mão de operadores e assim trazer melhorias de produtividade e redução de problemas de qualidade.

Sendo assim, aliado ao projeto de alteração do produto que traz alterações de processo de montagem e assim aumenta o risco de problemas de qualidade decorrentes de erros manuais por falha humana, foi decidido utilizar a metodologia EEM (Early Equipment Management) para estudar o uso de robótica colaborativa na estação de aplicação de selantes para a montagem do painel de instrumentos da linha de caminhões pesados.

### **1.3. JUSTIFICATIVA**

Desde o projeto de lançamento do novo modelo de caminhão pesado FH (lançado em 2014) o uso de robótica colaborativa tem sido considerado em diversas iniciativas para buscar oportunidades de aplicação na montagem final de veículos. Porém, até então, fatores como os custos de implementação e a falta de clareza da legislação vigente fizeram com que não fosse possível avançar em tais iniciativas.

Nas investigações realizadas anteriormente, além dos custos, a grande preocupação consistia na incerteza das medidas de controle necessárias para evitar



consequências trabalhistas na hipótese de um operador se ferir por trabalhar próximo a um robô que seria instalado sem barreiras físicas e sem sensores de segurança para reconhecer o posicionamento dos operadores ao seu redor. Estas incertezas e preocupações demonstraram-se como evidência da dificuldade de capacitação que o dinamismo trazido pela Indústria 4.0 causou no ramo industrial em geral, não apenas na indústria automobilística. Segundo a CNI, as tecnologias ligadas a Indústria 4.0 podem ser classificadas em 5 categorias, no que se refere aos efeitos específicos que causam na dinâmica de trabalho das empresas, conforme mostra a FIGURA 3 abaixo.

FIGURA 3 – CINCO CATEGORIAS DA INDÚSTRIA 4.0

Impactos na dinâmica de trabalho	Principais elementos da Indústria 4.0							Descrição
	Robótica avançada	Inteligência artificial	Computação em nuvem	Novos materiais	Big Data	Impressão 3D	Internet das Coisas	
1 Deslocamento de mão de obra	✓					✓		Redução e aumento de postos de trabalho em setores e funções específicos, deslocando mão de obra
2 Flexibilização	✓		✓				✓	Regimes de trabalho mais flexíveis tanto em relação à jornada de trabalho como também à localização
3 Capacitação	✓	✓		✓	✓			Capacitação da força de trabalho devido aos novos campos de conhecimento e tecnologia
4 Segurança no trabalho	✓	✓						Melhora nas condições de trabalho através do uso de robôs executando atividades de maior risco
5 Plataformas			✓				✓	Aumento no número de plataformas, incluindo <i>crowdworking</i>

Fonte: Análise ADVISIA OC&C Strategy Consultants

Pode-se observar que a robótica avançada é a tecnologia que causa mais efeitos nestas 5 categorias, especialmente em capacitação e segurança do trabalho. Isto foi diretamente percebido no projeto para automatização da aplicação de selando do painel de instrumentos usando robótica colaborativa, pois muitos profissionais tinham dificuldades em aceitar e trabalhar com a ideia de uma célula robótica sem barreiras e com possibilidade dos operadores atuarem lado a lado com um robô.

O processo de convencimento da organização para investir em robótica colaborativa começou em meados de 2015 e se deu com base na geração de dados e capacitação para os envolvidos, o que envolveu uma série de ações para demonstrar a necessidade e importância de discutir o tema “robótica colaborativa” e um maior nível de automação nas linhas de montagem final de veículos. Durante o período de 2015 a 2019 foram realizadas algumas investigações neste sentido, tanto de aquisição de

robôs quanto de locação de robôs colaborativos para algumas aplicações (Ex: aplicação de cola no parabrisas dos veículos semi-pesados, parafusamento do painel de instrumentos da cabine dos veículos pesados, montagem das borrachas das portas dos veículos pesados, etc). Porém, todas as investigações não foram adiante, seja por conta da relação custo/benefício ou por conta das Normas e Leis vigentes na ocasião, que faziam com que os profissionais tivessem receio de investir em robótica colaborativa por falta de clareza nas leis para este tipo de aplicação

Em 2019 com o projeto do novo modelo de caminhão FM, novamente foi investigada a possibilidade de aplicar este tipo de tecnologia na montagem final. Muitas das incertezas já estavam sendo clareadas no decorrer deste período desde 2015, pois a tecnologia já estava mais popularizada no contexto industrial com outras empresas implementando robôs colaborativos em suas linhas de montagem ao redor do mundo e localmente as Leis e Normas técnicas se adaptando para considerar estas novas tecnologias. Assim como o projeto de produto estaria trazendo maior complexidade para um processo de aplicação de selante, que no passado já tinha sido alvo de investigação para uso de robótica, então tomou-se a decisão de abrir um projeto de automação para aplicação de selante do painel de instrumentos para a montagem dos veículos pesados.

#### **1.4. HIPÓTESE**

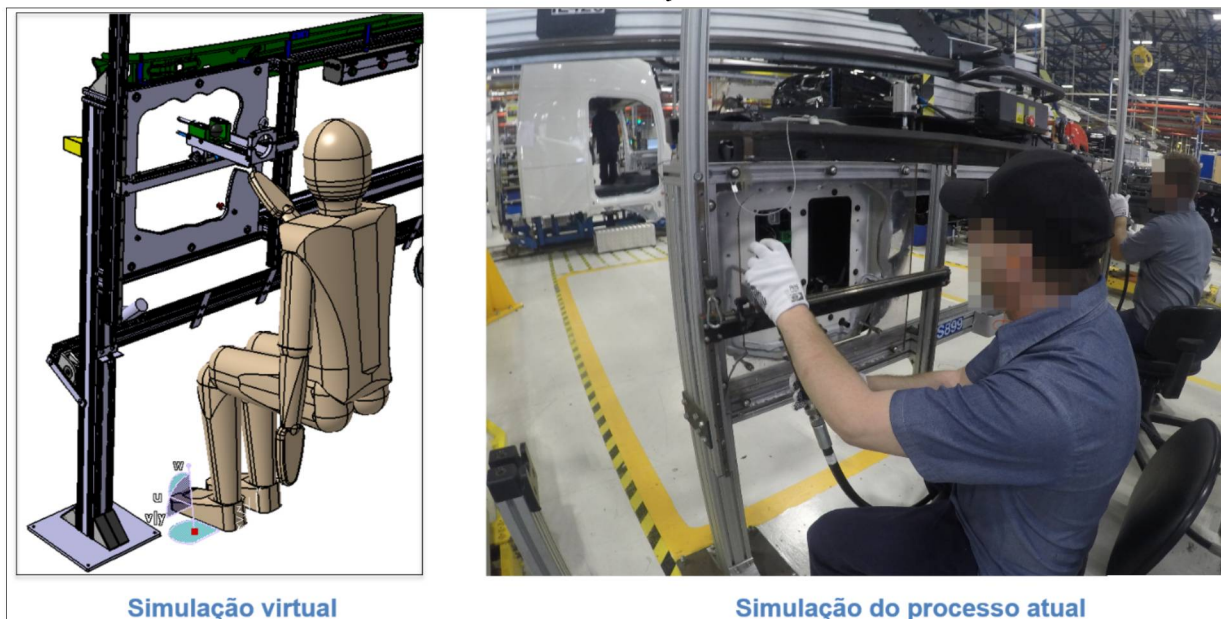
O processo decisivo para aprovação da abertura do projeto de automação para a aplicação de selante do painel de instrumentos dos veículos pesados considerou a hipótese de que o projeto seria conduzido para implementar a melhor das alternativas investigadas para atingir os melhores resultados “tangíveis” para a produção (produtividade, qualidade, custos, etc) assim como também trazer resultados “intangíveis” para a capacitação do corpo técnico envolvido no projeto, de forma a de estudo de caso como referência para novas aplicações similares de automação nas linhas de montagem final de veículos.

Sendo assim, optou-se por explorar ao menos 03 alternativas: [1] manter o processo manual assim como vinha sendo realizado nos veículos FH (FIGURA 4); [2] automatizar o processo por meio da robótica convencional utilizando barreiras e sensores de segurança com célula enclausurada (FIGURA 5); ou, [3] automatizar o



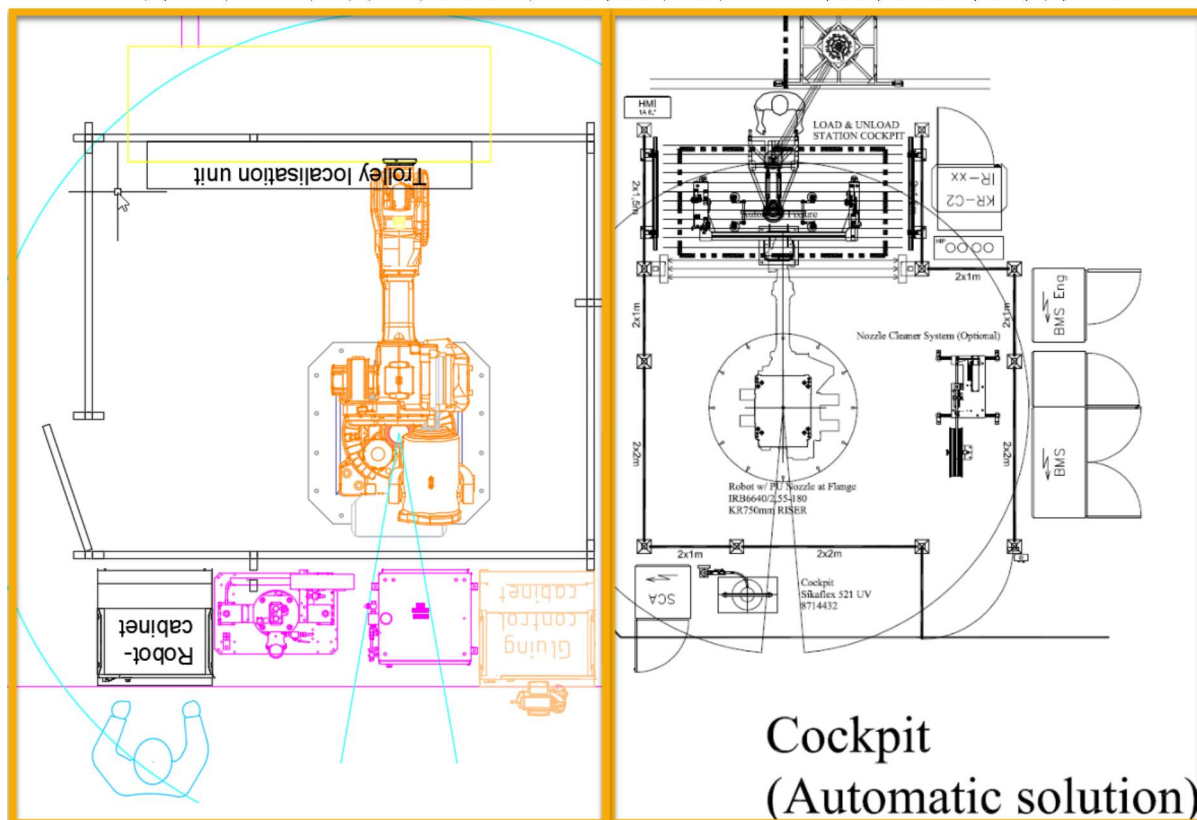
processo com robótica colaborativa sem necessidade de enclausuramento e assim criando áreas comuns para operadores e robô (FIGURA 6).

FIGURA 4 – APLICAÇÃO MANUAL



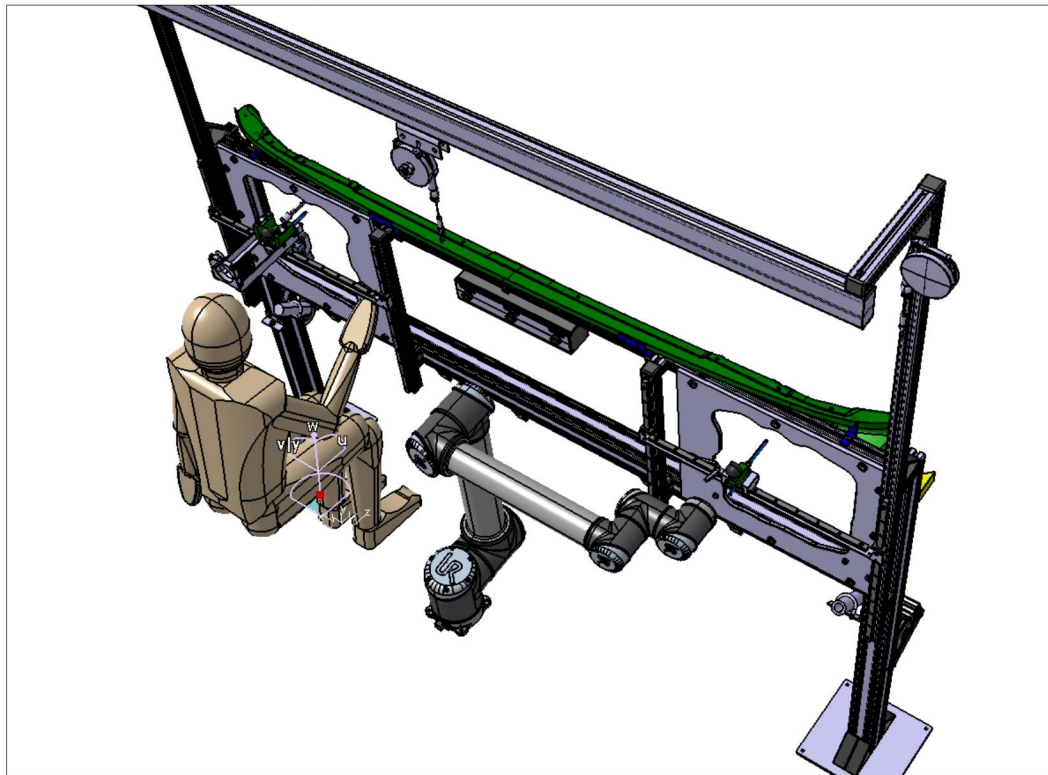
Fonte: dos Autores

FIGURA 5 – PROPOSTAS DE 2 FORNECEDORES PARA CÉLULA ENCLAUSURADA



Fonte: dos Autores

FIGURA 6 – SIMULAÇÃO DE COBOT E OPERADOR DIVIDINDO AREA COMUM



Fonte: dos Autores

No caso de optar-se por automação (convencional ou colaborativa), sempre foi considerada a ideia de que:

- a) Os equipamentos seriam comandados por meio de integração com sistema MES, chamado de ECS – Execution Control System, para que assim o sistema informe ao equipamento qual o processo a ser executado com base no tipo de veículo que está na estação de montagem.
- b) Toda a instalação estaria de acordo com a Legislação vigente para atender padrões estabelecidos para segurança do trabalho.

### **1.5. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é demonstrar através do estudo de caso, quais foram os principais desafios e benefícios da aplicação de robótica colaborativa integrada aos sistemas de controle na linha de montagem final de caminhões e como tal implementação abre oportunidades para que mais e maiores automações possam ser aplicadas e controladas pelos sistemas de controle no processo de montagem final de veículos.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. INDÚSTRIA 4.0 ou 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL**

A tecnologia e a engenharia são assuntos diretamente interligados, na medida em que uma tem grande impacto sobre a outra, eis que ambas avançam no mesmo compasso. Neste sentido, discorre sobre o assunto Viera (2012), dizendo que a maior aceleração de resultados se verifica a partir do século 18 e da Revolução Industrial, com novidades na agricultura, na medicina, na biotecnologia, na instrumentação, na nanotecnologia, na energia nuclear, e novidades em tantas outras áreas do conhecimento.

Atualmente, o termo Indústria 4.0 possui ligação tanto quando se fala em inovação tecnológica, quanto no campo da automação. A partir de Sistemas Cyber-Físicos, Internet das Coisas e Internet dos Serviços, as linhas de produções se tornam cada vez mais eficientes e com um custo menor, englobando fábricas de alto potencial e proporcionando impactos nos mais diversos setores do mercado, bem como inúmeras mudanças, tendo em vista que os produtos serão manufaturados.

O termo Indústria 4.0 teve origem a partir de um projeto de estratégias do governo alemão voltado à tecnologia, sendo usado pela primeira vez na Feira de Hannover em 2011. Em outubro de 2012, foi apresentado um relatório de recomendações para o Governo Federal Alemão, a fim de planejar sua implantação. Então, em Abril de 2013 foi publicado na mesma feira um trabalho final sobre o desenvolvimento da Indústria 4.0.

De acordo com Silveira (2015), ela possui um fundamento básico que é a conexão de máquinas, sistemas e ativos, para que, assim, as empresas possam criar redes inteligentes ao longo de toda a cadeia de valor, podendo controlar os módulos da produção de forma autônoma, assim como representado abaixo na FIGURA 7. Em outras palavras, as fábricas inteligentes terão a capacidade e autonomia de agendar manutenções, prever falhas nos processos e se adaptar aos requisitos e mudanças não planejadas na produção.

FIGURA 7 – INDÚSTRIA CONECTADA



Fonte: Reporter Industrial

Esta nova visão se assenta na produção inteligente e flexível, por meio da conectividade entre a internet, uma rede de máquinas “inteligentes” e sistemas de produção avançados, da implementação de tecnologia avançada, controlada em tempo real, do incremento dos big data e dos robôs industriais, de uma maior conectividade entre os seres humanos, as máquinas e os sistemas digitais, e do incremento da eficiência energética (BLANCHET et al., 2014).

A Indústria 4.0 começou a ser explorada e difundida pelo mundo todo. Para aprimorar sua utilização, torna-se imprescindível descrever e compreender fatores que fazem parte dessa chamada 4ª Revolução Industrial, dentre tais fatores: qual sua origem, quais os princípios que a rege, quais os fundamentos ou pilares que a sustentam e quais as principais inovações tecnológicas que reforçam seus conceitos.

### 2.1.1. ORIGEM DA INDÚSTRIA 4.0

O termo INDÚSTRIA 4.0 foi utilizado pela primeira vez em 2011 e faz parte de um projeto estratégico para aumentar a produtividade da indústria alemã fazendo uso de inovações de alta tecnologia. Em 2012 o grupo responsável pelo projeto e liderado por Siegfried Dais (Robert Bosch GmbH) e Kagermann (acatech), apresentaram um relatório ao governo alemão traçando estratégias para a implementação da INDÚSTRIA 4.0. Em 2013 o trabalho do grupo foi apresentado na feira de Hannover com o título: Recomendações estratégicas para a implementação da INDÚSTRIA 4.0, onde listava os passos necessários para a implementação de uma indústria no formato 4.0 (BERTULUCCI, 2016). A Alemanha lidera as pesquisas de implantação da INDÚSTRIA 4.0 pois possui know-how em pesquisa e produção de tecnologia voltada para a produção industrial e na sua liderança no desenvolvimento de aplicações de sistemas embarcados que são considerados a base dos sistemas cyber-físico das indústrias inteligentes. (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013).

Segundo recomendações para a implementação da iniciativa estratégica 4.0, há alguns pontos chave para o sucesso do projeto, que são (KAGERMANN, WAHLSTER; HELBIG, 2013):

- Normalização e referência arquitetural: como a INDÚSTRIA 4.0 irá integrar diferentes tipos de negócios em rede, com a necessidade de uma padronização e uma arquitetura de referência para servir de modelo, especificando as características técnicas para o projeto;
- Infraestrutura de comunicação para o setor industrial: para propiciar a melhor troca de informação entre os sistemas, deve haver uma boa comunicação de banda larga para o setor industrial e que possibilite que este comunique de forma rápida e segura com o mundo além das fronteiras das fábricas;
- Segurança da informação: como todos os equipamentos estarão interligados em redes, deve haver políticas de segurança robusta para combater acessos não autorizados, evitando assim vazamentos de informações ou sabotagens intencionais;
- Reorganização do trabalho: os processos serão monitorados em tempo real com a possibilidade de alteração do processo conforme decisões gerenciais. Desta forma os trabalhadores deverão exercer funções de decisão e não apenas de repetidores de operações. Deste modo, será



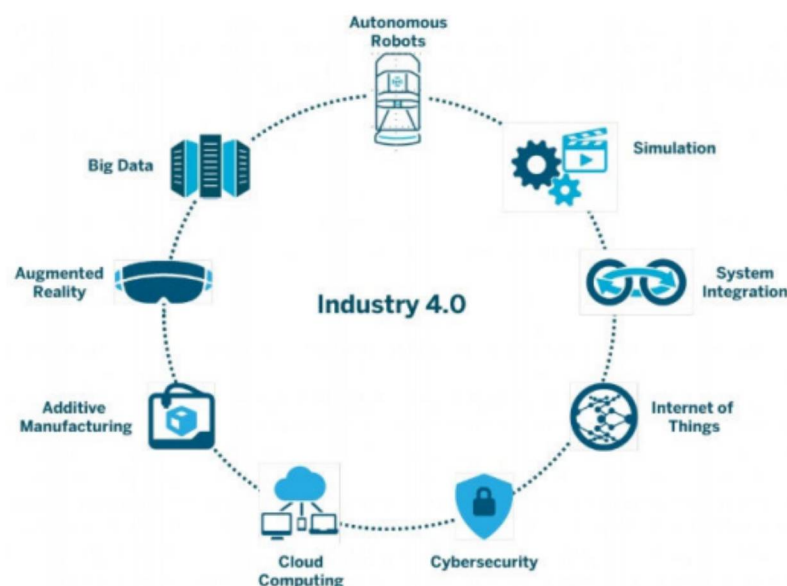
necessário elaboração de planos de treinamento e aprendizagem contínua;

- Regulamentação: os processos e negócios gerados pela INDÚSTRIA 4.0 precisam estar em conformidade com as leis. As fronteiras de responsabilidade precisam estar bem delimitadas, criando mecanismos para preservar o direito intelectual e a confidencialidade dos dados pessoais uma vez que todas essas informações estarão circulando nas redes;
- Utilização eficiente dos recursos: para a INDÚSTRIA 4.0 se manter competitiva ela precisa desenvolver estratégias de redução de custos com foco no uso eficiente dos recursos de energia e de matéria-prima, sem deixar de lado a responsabilidade como a preservação do meio ambiente.

### 2.1.2. PILARES DA INDÚSTRIA 4.0

A INDÚSTRIA 4.0 possui nove pilares que serão o seu apoio, estes são na realidade tecnologias que já estão em uso e a sua introdução no sistema produtivo fará com que se alcance o padrão 4.0 (ESTÉVEZ, 2016). Na FIGURA 8 são mostrados os nove pilares tecnológicos que serão abordados neste capítulo. A seção 3.1 aborda o pilar Internet da Coisas (Internet of Things).

FIGURA 8 - PILARES DA INDÚSTRIA 4.0

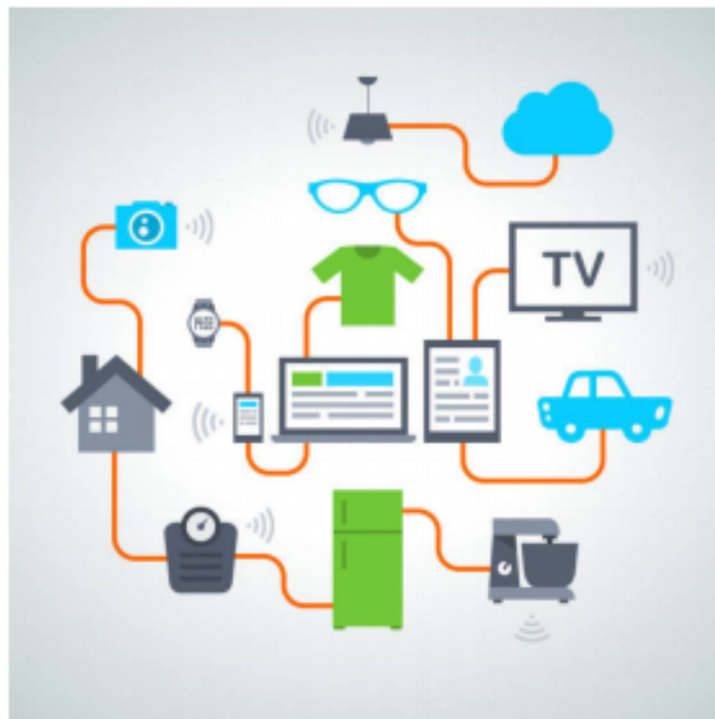


Fonte: ISA Distrito 4 (2016)

### 2.1.2.1. INTERNET DAS COISAS (INTERNET OF THINGS – IoT)

A ideia por trás da internet das coisas é fazer a conexão de objetos à rede mundial de computadores, estabelecendo a união das redes dos humanos com as diversas redes de objetos (EVANS, 2011). A variedade de objetos conectados é grande, conforme mostra a FIGURA 9, e as aplicações podem ser as mais diversas possíveis. Por exemplo, é possível conectar um smartphone à geladeira informando o usuário que está faltando algum item (NETSCAN, 2014). Assim como também é possível indicar ao gerente de manutenção que chegou a hora de realizar uma troca de uma correia que alcançou o seu tempo de operação ou que atingiu um desgaste excessivo (NETSERVICE, 2016).

FIGURA 9 - INTERNET DAS COISAS



Fonte: LTE Magazine (2016)

A internet das coisas forçará a uma mudança no consumo e nos meios de produção, criando tendências e estimulando a criação de novos negócios para suprir a demanda por objetos inteligentes concebidos para auxiliar nas tarefas do dia-a-dia (FIRJAN, 2016).

### 2.1.2.2. BIG DATA

No mundo dos negócios possuir a informação exata na hora certa é o que determina sucesso ou fracasso. As empresas buscam esse bem, a informação, para



garantir a sobrevivência de suas operações e atualmente o local de pesquisa é o que o Big Data (CANALTECH, 2016).

O termo Big Data refere-se a um grande volume de dados estruturados ou não que utilizados de maneira correta podem contribuir com insights que podem ajudar na tomada de decisões e no planejamento estratégico das empresas (SAS, 2016). O Big Data também pode ser definido como um conjunto de tecnologias de armazenamento e processamento de grande volume de informações. As informações que dão corpo ao Big Data são oriundas de diversas fontes, tais como: redes sociais, sensores de máquinas, sensores meteorológicos, bancos de dados, GPS, transações bancárias e etc (CANALTECH, 2016).

O Big Data ganhou foco no ano de 2000 através de Doug Laney, quando o definiu sob a perspectiva dos três “V”, como mostra a FIGURA 10. A perspectiva dos três “V” se refere à: volume que é a quantidade de dados gerados dentro e fora das empresas; velocidade com que os dados trafegam nas redes exigindo um processamento quase que em tempo real e variedade de formatos que os dados são apresentados (TARIFA; NOGARE, 2014).

FIGURA 10 – OS TRÊS "V" DO BIGDATA



Fonte: Polyvista (2016)

O Big Data se bem explorado, pode contribuir para: redução de custos, redução de tempo produção e manutenção de máquinas, respostas rápidas a reclamações de mercado, melhoramento e criação de novos produtos. (SAS, 2016).

### 2.1.2.3. ROBÓTICA AUTÔNOMA

Os robôs industriais foram desenvolvidos para executar tarefas repetitivas que exigem força ou precisão, as primeiras gerações destas máquinas apresentam programação fixa e executam somente o que foi previamente definido e qualquer alteração no processo resulta em paradas para reprogramação (ROMANO; DUTRA, 2016).

A robótica autônoma inspira uma nova geração de robôs capazes de sentir o ambiente em sua volta e operar por longas horas sem a supervisão direta de humanos. Estes equipamentos poderão aprender novas funções e se auto programarem o que permitirá o seu uso em processos de produção flexível (GARCIA, 2016). Alguns modelos de robôs autônomos são providos de estruturas que permitem a sua mobilidade, como o TUG, ver FIGURA 11. O TUG foi desenvolvido pela AETHON e pode ser utilizado em indústrias, centros de distribuição e até em hospitais.

FIGURA 11 – ROBÔ AUTÔNOMO TUG



Fonte: AETHON (2016)

Estes equipamentos podem trabalhar em conjuntos com outros robôs ou com seres humanos. Como conseguem perceber o ambiente ao seu redor, eles são capazes de controlar seus movimentos de modo a evitar acidentes (VALLONE, 2015). Na FIGURA 12 é possível visualizar esse novo modelo de colaboração, onde o robô e a operária trabalham lado a lado sem a necessidade de barreiras físicas entre eles.

FIGURA 12 – ROBÔ COLABORATIVO



Fonte: TOKSTER (2013)

A evolução dos sistemas autônomos trará benefícios para a INDÚSTRIA 4.0. Pois contribuirá para diminuição dos custos relacionados a mão de obra e possibilitará uma fabricação mais flexível, com produtos customizados e em lotes sob medida (BARROS, 2016).

#### 2.1.2.4. MANUFATURA ADITIVA

A manufatura aditiva possibilita a exploração de novas oportunidades de negócios oferecendo produtos customizados a preços reduzidos. Com isso cria-se a possibilidade de atender um novo público de consumidores interessados em produtos feitos em lotes reduzidos e com baixo custo (ZANCUL, 2015). A manufatura aditiva, conhecida por impressão 3D, consiste na fabricação de peças 3D através da adição de camadas de material. Este modo de fabricação permite criar peças com designer complexos e com tamanhos minúsculos (STEFANI, 2014). A FIGURA 13 mostra uma impressora 3D imprimindo uma maquete de vários prédios.

FIGURA 13 – IMPRESSORA 3D



Fonte: Wholesale Scanners (2016)

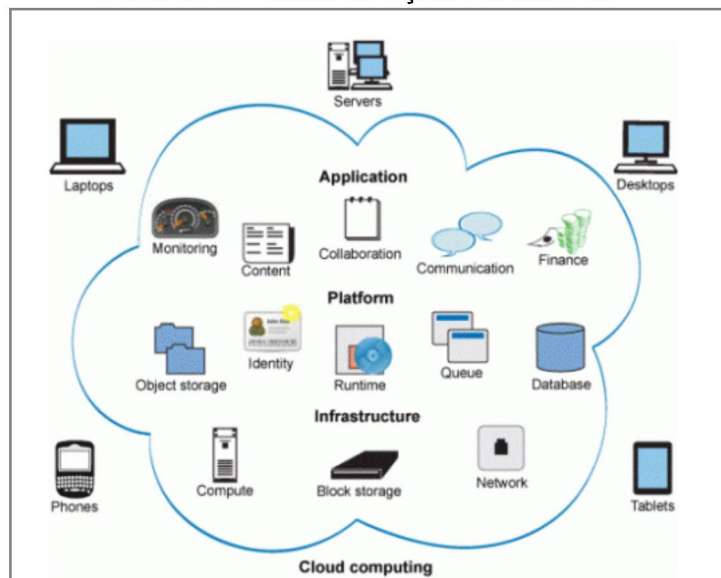
As aplicações para este tipo de fabricação são as mais diversas possíveis, pode ser utilizada para criar desde peças de decoração até próteses cirúrgicas. A manufatura aditiva reduz o desperdício de material uma vez que usa somente o necessário, diferente dos processos tradicionais de usinagem. (MARQUES, 2014). A manufatura aditiva dispensa a utilização de formas ou moldes, as peças são criadas digitalmente o que reduz o custo de fabricação. (STEFANI, 2014). A tecnologia poderá ser amplamente utilizada até mesmo para a fabricação em grande escala o que hoje não é possível devido a limitação de velocidade das impressoras atuais. (GIORDANO, ZANCUL e RODRIGUES, 2016).

#### 2.1.2.5. COMPUTAÇÃO NAS NUVENS

Computação nas nuvens refere-se à possibilidade de ter acesso a serviços de TI através de uma conexão à internet. Com esta tecnologia precisa-se apenas de um browser no dispositivo (computador, tablete ou smartphone) e desta forma pode ter acesso a seus arquivos ou aplicativos de qualquer lugar (MICROSOFT, 2016). O termo nuvens é utilizado porque os detalhes técnicos e a infraestrutura por trás dos serviços de TI são invisíveis para o usuário final, conforme pode ser visto na FIGURA 14. Os responsáveis por controlar e manter toda essa infraestrutura são os provedores. (MICROSOFT, 2016).



FIGURA 14 – COMPUTAÇÃO EM NUVEM



Fonte: iMasters (2016)

Empresas estão utilizando a computação nas nuvens para reduzir os seus custos com aquisição de servidores e licenças de software. Elas deixam de gastar.

#### 2.1.2.6. SIMULAÇÃO

As tecnologias de virtualização estão se mostrando ferramentas importantes para o chão de fábrica ao permitirem a criação de cópias fieis das linhas de produção, possibilitando testar configurações de maquinário e medir os resultados antes de implementar qualquer alteração no ambiente real. Na FIGURA 15 podemos visualizar a simulação de um ambiente industrial, com a disposição dos robôs ao longo da linha de montagem.

FIGURA 15 – FÁBRICA SIMULADA



Fonte: Warwick (2016)

A virtualização está sendo empregada por fabricantes de robôs industriais como forma de reduzir custo e prazos finais de entrega. A estratégia utilizada é simular em laboratório operações, movimentos e as trocas de sinais que os equipamentos terão em um ambiente real de produção. Com o auxílio da virtualização a etapa de comissionamento torna-se mais rápida pois a lógica do software que era implementada em campo com o equipamento já instalado, agora é feita ainda na etapa de projeto. Desta forma, a equipe de campo fica apenas com a função de instalação dos programas (INDÚSTRIA HOJE, 2016).

Em uma fábrica virtual podem ser simulados todas as etapas do processo relacionadas a uma linha de montagem. Isso possibilita melhorias na qualidade ou na criação de novos produtos. Este ambiente permite simular operações e movimentos dos operadores para prevenir futuros problemas ergonômicos (FIGUEREDO, 2012).

#### *2.1.2.7. REALIDADE AUMENTADA*

A realidade aumentada conhecida no mundo dos jogos e entretenimento está chegando no ambiente industrial. (THALES GROUP, 2016). O portal da FIEB faz a seguinte definição da realidade aumentada (FIEB, 2016):

Realidade Aumentada (RA) é a integração do ambiente real e virtual em tempo real, por meios tecnológicos, ou seja, através da utilização de um computador com webcam que executa um programa, proporcionando a exibição de imagens virtuais no ambiente real. A principal característica da RA é a utilização e apresentação de objetos virtuais em situações reais.

A realidade aumentada pode ser utilizada na capacitação em treinamento e supervisão de equipes de trabalho. Através dela, princípios de funcionamento de máquinas poderão ser compreendidos e comportamentos fora do padrão serão mais facilmente identificados (VADHER, 2015). Com foco neste Mercado a Epson desenvolveu um Smart Headset, destinado a manutenção industrial. Através deste equipamento o usuário poderá receber em tempo real informações e diagramas conforme mostra a FIGURA 16. (EPSON, 2016).

FIGURA 16 - REALIDADE AUMENTADA



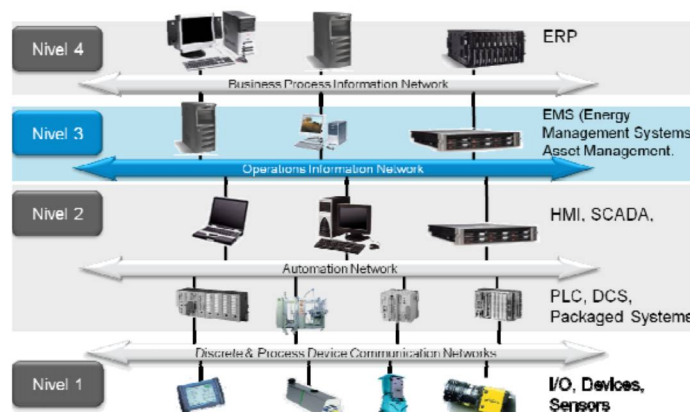
Fonte: EPSON (2016)

#### 2.1.2.8. INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS

A integração de sistemas é a unificação dos sistemas de gerenciamento e controle de modo a conectar diretamente o chão de fábrica com nível corporativo. Com esta junção pretende-se aumentar a competitividade, reduzir custos e aumentar a flexibilização da produção. Esta integração verticalizada dos sistemas não ficará limitada por um único espaço físico, mas interligará cadeias logísticas, fornecedores, fabricantes e consumidores, gerando possibilidades de abertura de novos negócios, melhoria e desenvolvimento de novos produtos (ARKTIS, 2016).

A FIGURA 17 mostra a integração vertical dos sistemas de gerenciamento em controle, onde cada rede encontra-se em níveis diferentes. No nível 1 encontramos os sensores, atuadores e componentes de I/O. No nível 2 estão instalados os dispositivos de controles, PLC e sistema supervisório. Já no nível 3 estão os dispositivos e softwares de gerenciamento. E por último no nível 4 estão os sistemas ERP que auxiliam a tomada de decisão.

FIGURA 17 – INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS



Fonte: GEINFOR (2016)

A integração de sistemas pode oferecer muitas possibilidades para os negócios, mas ainda há um longo caminho a seguir até que venha se tornar plenamente funcional a ponto de garantir a INDÚSTRIA 4.0 obter o sucesso esperado. O ponto chave é fazer com que sistemas diferentes tenham conexão entre si, e isso passa pela padronização e adoção de um protocolo único de comunicação. O que vemos hoje é que cada fabricante utiliza protocolos e arquitetura de comunicação diferentes o que dificulta a interoperabilidade entre sistemas (GHAREGOZLOU, 2016).

### 2.1.3. OS PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 possui alguns princípios que norteiam sua aplicação. Silveira (2015) afirma que foram relacionados cinco deles, os quais são definidos a partir de sistemas de produção inteligentes que tendem a surgir ou que possam ser aperfeiçoados nos próximos anos. São eles:

- Capacidade de operação em tempo real: Aquisição e tratamento de dados de forma praticamente instantânea, permitindo a tomada de decisões em tempo real.
- Virtualização: Simulações já são utilizadas atualmente, assim como sistemas supervisórios. No entanto, propõe a existência de uma cópia virtual das fábricas inteligentes. Permitindo a rastreabilidade e monitoramento remoto de todos os processos por meio dos inúmeros sensores espalhados ao longo da planta.
- Descentralização: A tomada de decisões poderá ser feita pelo sistema cyberfísico de acordo com as necessidades da produção em tempo real. Além disso, as máquinas não apenas receberão comandos, mas poderão fornecer informações sobre seu ciclo de trabalho. Logo, os módulos da fábrica inteligente trabalharão de forma descentralizada a fim de aprimorar os processos de produção, garantindo o funcionamentos dos softwares envolvidos.
- Orientação a serviços: Utilização de arquiteturas de software orientadas a serviços aliados ao conceito de Internet of Services.



- Modularidade: Produção de acordo com a demanda, acoplamento e desacoplamento de módulos na produção, fornecendo flexibilidade para alterar as tarefas das máquinas facilmente.

Assim, demonstrou-se que a Indústria 4.0 tem como principal objetivo a não interferência humana, evitando, assim, qualquer negligência que esses pudessem vir a ter, bem como tornando as informações mais acessíveis e em tempo real. Portanto, através da utilização desses princípios norteadores, é possível criar a base da Indústria 4.0.

#### 2.1.4. BASE DA INDÚSTRIA 4.0

Antes de iniciar a abordagem a respeito da base da Indústria 4.0, Silveira (2015) ressalta um ponto que será importante na Quarta Revolução Industrial: o desenvolvimento no campo de segurança em tecnologia da informação, protegendo as informações de quem as usa, tendo, assim, uma maior confiabilidade da produção e interação máquina-máquina. A tecnologia deverá se desenvolver continuamente para tornar viável a adaptação de empresas a este novo padrão de indústria que está surgindo.

Para uma melhor utilização dessa tecnologia, os profissionais também precisam evoluir. A implementação dessa tecnologia acarretará a substituição de trabalhos manuais e repetitivos, e a mão de obra no chão de fábrica vai ser extinta. Entretanto, se os profissionais conseguirem manter uma formação multidisciplinar e atualizada, conseguirão se adaptar e ter seu espaço em uma fábrica inteligente.

A Indústria 4.0 é uma realidade que se torna possível devido aos avanços tecnológicos da última década, aliados às tecnologias em desenvolvimento nos campos de tecnologia da informação e engenharia. Portanto, a base da Indústria 4.0 repousa em suas tecnologias, dentre as quais, para Silveira (2015), as mais relevantes são:

- Internet das coisas (Internet of Things – IoT): Consiste na conexão em rede de objetos físicos, ambientes, veículos e máquinas por meio de dispositivos eletrônicos embarcados que permitem a coleta e troca de dados. Sistemas que funcionam a base da Internet das Coisas e são dotados de sensores e atuadores são denominados de sistemas Cyber-físicos, que são a base da Indústria 4.0.

- **Big Data Analytics:** São estruturas de dados muito extensas e complexas que utilizam novas abordagens para a captura, análise e gerenciamento de informações. Aplicada à Indústria 4.0, a tecnologia de Big Data consiste em 6Cs para lidar com informações relevantes: Conexão (à rede industrial, sensores e CLPs), Cloud (nuvem/dados por demanda), Cyber (modelo e memória), Conteúdo, Comunidade (compartilhamento das informações) e Customização (personalização e valores).
- **Segurança:** Um dos principais desafios para o sucesso da Quarta Revolução Industrial está na segurança e robustez dos sistemas de informação. Problemas como falhas de transmissão na comunicação máquina-máquina, ou até mesmo eventuais “engasgos” do sistema podem causar transtornos na produção. Com toda essa conectividade, também serão necessários sistemas que protejam o know-how da companhia, contido nos arquivos de controle dos processos.
- **Impressão 3D:** Também conhecida como prototipagem rápida, é uma forma de tecnologia de fabricação aditiva onde um modelo tridimensional é criado por sucessivas camadas de material. São geralmente mais rápidas, mais poderosas e mais fáceis de se usar do que outras tecnologias de fabricação aditiva. Oferecem aos desenvolvedores de produtos a habilidade de, num simples processo, imprimirem partes de alguns materiais com diferentes propriedades físicas e mecânicas.

Importante ressaltar que, além das tecnologias apresentadas acima, a Indústria 4.0 não se limita apenas a estas. Assim, por meio das tecnologias indicadas, é possível visualizar como a Indústria 4.0 forma a sua base. Então, após a construção dessa base, torna-se possível expandir sua tecnologia, gerando, assim, inovações tecnológicas em diversas áreas.

#### 2.1.5. INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA INDÚSTRIA 4.0

A busca contínua por inovações tecnológicas e novos parâmetros de gestão geram um produto de melhor qualidade e menor custo, o que vem sendo constantemente visado, pois acarreta maior satisfação ao cliente.

Segundo Laureth (2014), a Indústria 4.0 está estruturada em sistemas de produção que utilizam o que há de mais moderno em automação e sistemas inteligentes de comunicação. Ela se caracteriza por uma fábrica inteligente de alta complexidade tecnológica, em que as máquinas, os produtos, os insumos e clientes estão conectados pela comunicação de dados para monitoramento e tomada de decisão.

A indústria 4.0 é um projeto no âmbito da estratégia de alta tecnologia do governo alemão que promove a informatização da Manufatura. O objetivo é chegar à fábrica inteligente (*SmartManufacturing*) que se caracteriza pela capacidade de adaptação, a eficiência dos recursos e ergonomia, bem como a integração de clientes e parceiros de negócios em processos de negócios e de valor. Sua base tecnológica é composta por sistemas físicos/cibernéticos e a Internet das Coisas. Especialistas acreditam que a Indústria 4.0 ou a quarta revolução industrial poderia ser realizada dentro de uma década (SANTOS, 2015).

Os princípios norteadores da Indústria 4.0, através da união de sistemas materiais e informacionais pelas tecnologias de informação e comunicação, sensores, atuadores e controladores e, ainda, pela Internet das Coisas, levam a transformar tudo aquilo que está presente e é produzido na rede, em informação.

Razão pela qual salienta-se a importância dada às tecnologias ubíquas (que podem ser encontradas em todo e qualquer lugar). Baseando-se em publicações de revistas científicas, bem como em estudos internacionais de relevância, serão analisadas nove áreas de conhecimento tecnológico, cada qual com sua característica de maior importância, enfatizando-as no decorrer da pesquisa.

#### 2.1.5.1. *Automação e Robótica*

A automação e robótica envolve desde simples operações de transporte até robôs multieixos, com sistemas de visão integrados e capacidade de adaptação em tempo real. Tal procedimento avançou consideravelmente nos últimos anos, em razão da diminuição dos custos de produção e da frequência dos seres humanos em locais inapropriados para trabalhar, sejam eles inóspitos ou nocivos à saúde, razão pela qual vem ganhando mais espaço no mercado (FORESIGHT, 2013).

O treinamento para capacitação de utilização das máquinas terá relevante importância na formação de estratégias de mercado, mas utilizarão uma mão de obra de baixa qualificação. Por fim, o avanço da automação e robótica tornará as operações rotineiras do mercado atual obsoletas.

#### *2.1.5.2. Tecnologias da Informação e Comunicação*

Para Foresight (2013) as tecnologias de informação e comunicação serão utilizadas com o objetivo de integrar a produção a todas as atividades necessárias a agregar valor ao produto visando atingir o consumidor. Tomando por base os princípios da Indústria 4.0, as formas de organização de trabalho e os modelos de negócio, o conceito respalda-se na incorporação dos sistemas ciber-físicos na produção e na logística. Assim, utilizando novos materiais e máquinas generalistas, a produção torna-se cada vez mais rápida, aproximando-se do consumidor final.

#### *2.1.5.3. Modelagem e Simulação*

Os processos de modelagem e simulação são, atualmente, extremamente importantes no que tange ao comércio pela Internet, ramo que vem se desenvolvendo com mais força no mercado atual. Serão eles os responsáveis por fazer com que os produtos, na esfera virtual, aproximem-se mais da realidade. (FORESIGHT, 2013).

Além disso, trata-se de um sistema de investimento alto, tendo baixa tolerância com erros. Assim, o emprego da modelagem e simulação tem explorado novos caminhos de comunicação com os consumidores e suas respectivas redes sociais.

#### *2.1.5.4. Sensores e Atuadores*

Essa nova revolução tem por objetivo integrar produtos aos processos e à Internet através de sensores em redes. Segundo Dickens et al (2013) sensores são conversores que medem quantidades físicas e as convertem em sinais que podem ser lidos por um observador ou por um instrumento eletrônico. Assim, novos serviços podem ser criados: gestão autônoma de estoque pelo sistema e o autodiagnóstico de defeitos. Esse fluxo de dados de serviços, além de diminuir as falhas, também pode diminuir o consumo de energia.

#### *2.1.5.5. Computação em Nuvem*

A computação em nuvem veio para permitir que empresas possam fazer uso da tecnologia de informação e comunicação (TIC) sem ter profissionais especializados. A nuvem consiste em máquinas virtuais on-demand acopladas a serviços de software capazes de entregar ampla gama de serviços de maneira confiável e segura para

múltiplos dispositivos, garantindo a computação móvel (DICKENS et al, 2013).Ademais, possui vários serviços, tais como: Inteligência de negócios, *e-commerce*, computação social e móvel e Big-data.

#### 2.1.5.6. *Big Data, IdC, IdS, 3DP e outras tecnologias*

Diversas tecnologias já foram citadas, como Big data, internet das coisas e serviços e impressão 3D. A Big Data, ou seja, capacidade de armazenamento e tratamento de um volume muito grande de informações, tem por dever mínimo otimizar a produção e os ciclos do produto, assim como diminuir o uso de recursos.

Hermann et al (2015) diz que sua enorme base de dados é capaz de incluir desde conversas online sobre uma marca ou produto até dados em tempo real coletados de máquinas-ferramentas e robôs, o que deverá se tornar essencial tanto para a manufatura quanto para todo o seu transporte.

Sensores integrados a novos produtos permitem a criação da Internet das Coisas (IdC) ou, como falado anteriormente, IoT (Internet of Things). IdC é um ecossistema com bilhões de dispositivos, pelo qual sensores de radiofrequência, atuadores e celulares interagem entre si e cooperam com componentes e dispositivos vizinhos para atingirem objetivos comuns (FORESIGHT, 2013).

Por outro lado, a sua companheira Internet dos Serviços (IoS), fundada na Alemanha, pelo projeto Smart Face, permite que clientes possam ser atendidos pela internet, tendo em vista que possuem múltiplos canais que oferecem diferentes serviços nas mais diversas áreas, essa ideia foi fundada na Alemanha, pelo projeto Smart Face. O desenvolvimento da IdC e da IdS cria redes de recursos, informação, pessoas e objetos. Na dimensão industrial, esta evolução tecnológica é conhecida como o quarto estágio da industrialização, ou Indústria 4.0. (DEUTSCH BANK, 2014).

Atualmente, têm-se o campo de interação homem-máquina, sendo o ser humano o responsável pela entrada de dados, os quais são mediados por um software em um computador. Futuramente, as máquinas já serão capazes de realizar essa mediação autonomamente, ou seja, os comandos dos seres humanos serão dados diretamente pelo seu pensamento, mediante ondas cerebrais, com o apoio de telas 3D com imagens 3D, do Big Data e dos sistemas de sensoriamento e de simulação. A incorporação nas máquinas de tecnologias que as fazem entender as linguagens e

vozes humanas tem se mostrado rápida e eficiente, como se pode observar nos serviços Siri da Apple e do Google Now. Dentre o processo de desenvolvimento para que isso ocorra, estão inclusas:

- a. mimetização de sistemas biológicos para adaptação autônoma ao ambiente;
- b. computação robusta para eliminação de falhas;
- c. capacidade de aprendizagem biológica;
- d. capacidade de atuação em jogos complexos;
- e. processamento natural de linguagem;
- f. computação evolucionária capaz de superar os sistemas projetados pelo homem. (DEUTSCH BANK, 2014).

Portanto, mostrou-se que as tecnologias da Indústria 4.0 podem ter diversas ramificações. No âmbito de inovação tecnológica, inclusive, a diversidade de atuação é imensurável. Ainda, restou comprovado que várias empresas já vêm utilizando tais tecnologias. Então, após essa exposição, é preciso esclarecer, mais especificamente, exemplos concretos que surgiram através da aplicação dessas tecnologias na Indústria 4.0.

#### 2.1.6. A EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 vem sendo comparada com o processo de desestruturação da produção, como aconteceu com as revoluções industriais ao longo dos anos. Nenhuma delas foi iniciada por uma única tecnologia, mas pela interação de inúmeros avanços tecnológicos, cujo efeitos criaram um novo modo de produção (SCHMIDT et al., 2015).

Este novo paradigma na fabricação é o resultado do uso da Internet, o qual permite a comunicação cada vez mais avançada e em tempo real entre máquinas e seres humanos. A utilização do que é conhecido como "produtos inteligentes e serviços inteligentes", bem como a digitalização avançada dentro das fábricas, tem-se o futuro da produção, chamado de "fábrica inteligente", que permitirá conectar todos os elementos em um processo de fabricação e tornará possível a aplicação de conceitos como a adaptabilidade, a interconectividade, eficiência e ergonomia. (LASI et al, 2014).

Em relação à Logística 4.0, pode-se dizer que é o progresso da "economia de trabalho e padronização pela evolução da Internet das Coisas". Tecnologias como

robôs de armazém e de condução automática estão tentando substituir os processos que não necessitam de operação e determinação do trabalho humano.

Assim, o objetivo é o equilíbrio perfeito entre a automação e a mecanização. Para implementar essas novas tecnologias que tendem a transformar as fábricas atuais em "fábricas inteligentes", faz-se necessário um grande período de tempo, um grande investimento e um treinamento especial, mas sem dúvida ele irá ter retornos, como a melhoria e o abatimento do custo envolvendo a logística e, conseqüentemente, ganhando economia de tempo.

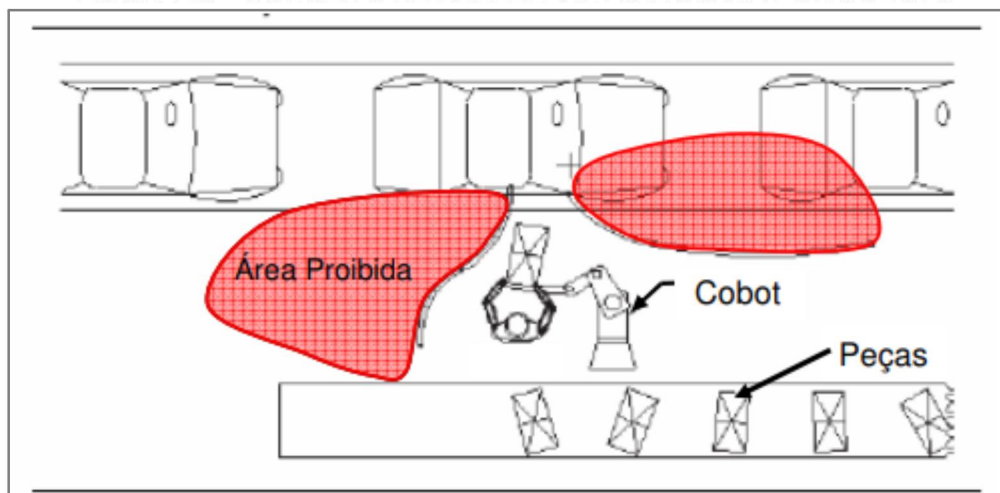
## 2.2. ROBÓTICA COLABORATIVA

### 2.2.1. COBOTS

Os Robôs Colaborativos, denominados Cobot, representam uma nova arquitetura de robôs que, ao contrário dos robôs comerciais, são passivos, ou seja, não se movem por conta própria. Essa característica garante segurança na interação do dispositivo com o operador.

A passividade permite ao cobot restringir a direção do movimento, conforme mostra a FIGURA 18, na qual, a peça pode se movimentar livremente, porém ao se aproximar da parede virtual, regiões destacadas nas proximidades da peça. O cobot utiliza seus atuadores para evitar que a mesma entre nestas regiões denominadas áreas proibidas.

FIGURA 18 – CONCEITO DE PAREDE VIRTUAL USADA POR COBOTS



Fonte: Manufacturing Technology (2012).

Devido à passividade, os cobot conseguem grandes resultados em termos ergonômicos, pois o operador pode trabalhar numa posição confortável. Porém, a redução de esforços é baixa ou nula, vez que o operador é a fonte de potência para deslocar o cobot. Contudo, existe a diminuição do atrito no sistema de deslocamento do cobot, que pode gerar algum alívio no esforço necessário.

A segunda vantagem dos cobot é a sua rigidez mecânica, que pode ser elevada devido aos sistemas de baixo atrito. Assim, é possível ter um sistema bem rígido e pesado, mas que pode ser manipulado facilmente, com inteligência e sem o risco de acidentes, devido ao controle de movimentação.



### 2.2.2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

No que se refere aos conceitos de robótica colaborativa, é importante conhecer alguns dos principais conceitos:

a. COBOTS:

- São robôs desenvolvidos para interação direta com humanos dentro de uma área de trabalho colaborativa definida.

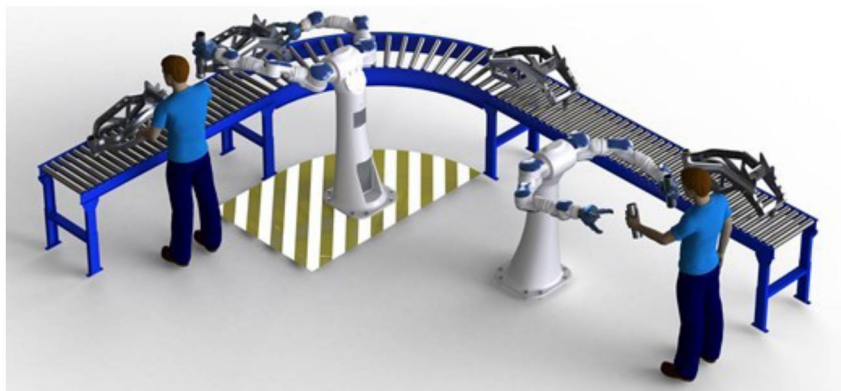
b. ÁREA DE TRABALHO COLABORATIVA:

- É um espaço seguro onde o robô e um humano desenvolvem tarefas simultâneas isoladas e conjuntas durante o ciclo produtivo.

c. OPERAÇÃO CALABORATIVA:

- Evento nos quais robôs propositadamente desenvolvidos para trabalhar em direta cooperação/ interação com humanos dentro de uma área de trabalho definida. (ver FIGURA 19 abaixo)

FIGURA 19 – EXEMPLO DE LINHA DE MONTAGEM COM ROBÔS E HUMANOS LADO A LADO



Fonte: LeanBox (2017) - acessível em <https://leanbox.es>

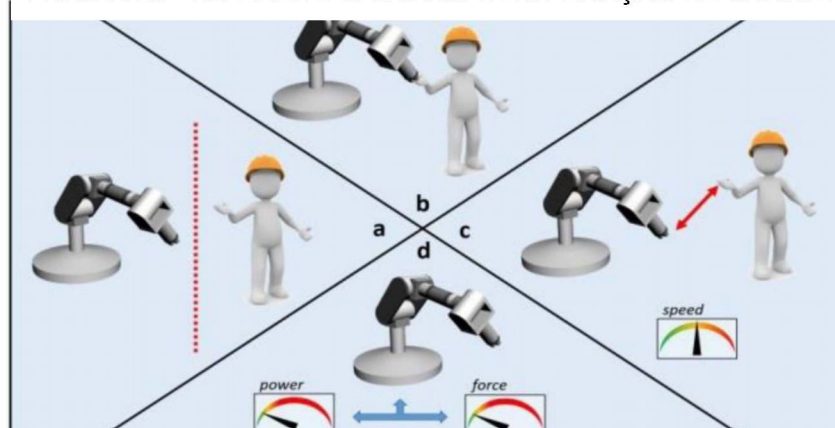
Em 2016 uma especificação técnica foi lançada para complementar as normas vigentes, a ISO/TS 15066. Neste documento estão citados todos os parâmetros que um robô deve seguir para ser considerado apto para operar em interação com seres humanos, ou seja, esta atualização nas normas é em decorrência da introdução de robôs colaborativos em ambientes industriais e afins. A principal motivação para a atualização das normas de segurança foi a necessidade da adaptação dos padrões devido a incapacidade das normas em vigência até o momento para garantir o máximo

de segurança ao operário e uma interação homem-máquina flexível (ROSENSTRAUCH; KRÜGER,2017).

Foi criada uma divisão no que tange a robótica colaborativa quanto a modo de operação e interação em robôs manipuladores e operários humanos, são quatro modos de operação diferentes, que são listados abaixo e exemplificados na FIGURA 20. Para seguir as normas de segurança diversas soluções foram estabelecidas e novas vem sendo pesquisadas e postas em prática, as soluções mais utilizadas são o controle de impedância, suas versões modificadas para limitação de força, amortecimento adaptativo e redundâncias (NAVARRO et al.,2016).

- a. Avaliação de segurança para Parada Monitorada: neste modo a operação do robô só é liberada caso não exista uma pessoa dentro do seu espaço de trabalho, assim que uma pessoa entra no espaço o robô automaticamente para sua tarefa;
- b. Guia de Mão: neste modo o operador pode guiar o robô manipulador pelo ambiente de trabalho;
- c. Monitoramento de distância e velocidade: este modo permite a presença de uma pessoa dentro do ambiente de trabalho do robô, porém dependendo de sua proximidade a velocidade do robô é reduzida ou não para garantir que acidentes não ocorram, caso a distância seja menor que o limite o robô irá interromper sua operação;
- d. Limitação de Força: este modo permite a interação total entre o robô e o operador humano, porém para evitar acidentes a força e a velocidade com as quais o robô se move são limitadas dependendo do tipo de movimento em função do tipo de lesão que pode ocorrer.

FIGURA 20 – DIFERENTES MODOS DE OPERAÇÃO DE UM COBOT

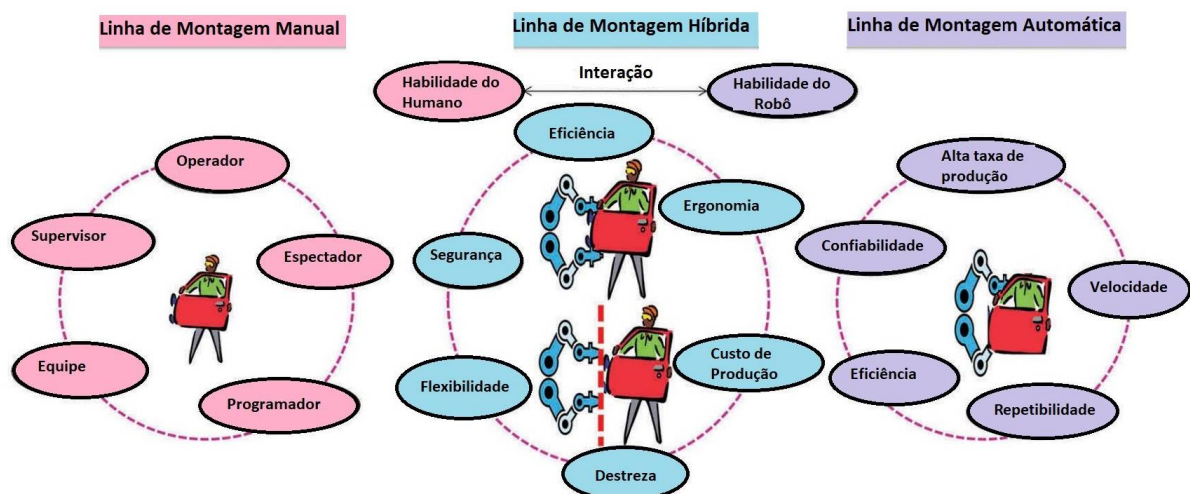


Fonte: Rosenstrauch e Kruguer (2017)

### 2.2.3. DIVISÃO DE TAREFAS NA ROBÓTICA COLABORATIVA

A robótica colaborativa mescla as vantagens de ambas as partes, de um lado tem-se a capacidade cognitiva e tomada de decisões humanas e do outro as capacidades físicas dos robôs (ROSENSTRAUCH; KRÜGER, 2017). A FIGURA 21, ilustra a de um lado quais as funções que os seres humanos podem ter uma linha de produção colaborativa, como programador, supervisor, operador. Do outro lado têm-se as características que um robô apresenta como repetibilidade, alta taxa de produção, velocidade, eficiência e confiabilidade. E no centro, unindo os dois tipos de operários são apresentadas aspectos da linha colaborativa como a eficiência, o custo de produção, a segurança, a flexibilidade e a ergonomia

FIGURA 21 – ASPECTOS DOS ROBÔS COLABORATIVOS



Fonte: Tsarouchi et al. (2016)

Porém uma grande dificuldade é a divisão das tarefas. Existem diversos estudos para criar métodos de dividir quem realizará cada passo da tarefa de forma a criar uma rotina colaborativa eficiente e segura, levando em conta o fator humano. Por exemplo, em uma linha de montagem, um operário humano responsável por inserir uma peça pode nem sempre manter o mesmo ritmo, fato que pode levar a necessidade da parada das operações por motivos de segurança ou de continuidade, desta forma, a rotina colaborativa deve atrelar em sua concepção esses desvios padrões que podem ocorrer dado que existe um ser humano envolvido (DING et al., 2013).

Na situação citada acima, uma das duas partes deve se adaptar, como exigir que o operário siga um ritmo fixo cria uma situação de muito estresse físico, é interessante que o robô manipulador se adapte ao ritmo da linha de produção. Esta

adaptação deve ser realizada para evitar acidentes envolvendo o operador humano e manter a produtividade da tarefa em questão.

Para a melhor alocação de tarefas colaborativas é necessário ter em mente o tipo de trabalho a ser desenvolvido e o ambiente onde a tarefa será realizada. O ambiente de trabalho é um fator muito importante em situações que envolvem interação homem-máquina e deve ser estudado a ponto de que se possa indicar o melhor ambiente onde uma tarefa seja realizada. Por ambiente de trabalho entende-se o espaço físico a ser dividido pelo operário e pelo robô, e tal análise é importante para determinar padrões de segurança a serem implementados e definir o tipo de interação entre homem e máquina de forma a garantir um alto grau de produtividade.

Na análise do ambiente de trabalho devem ser observados tantos aspectos do robô quanto do ser humano, de forma que seja criada uma base de dados bem ampla sobre o comportamento de ambas as partes (VAHRENKAMP et al.,2016).

Uma vez que o ambiente e o comportamento de ambas as partes já foram analisados deve-se passar por uma rotina de análise de riscos, tal rotina segue padrões determinados nas normas ISO12100 e EIC61508. Esta análise de risco é composta pelos seguintes processos:

- Análise de Risco: consiste em identificar todos os tipos de acidentes envolvendo o robô e o operário humano durante o funcionamento normal do robô levando em conta todas as possibilidades de operação e interação entre ambos;
- Avaliação de Risco: consiste em determinar o grau de gravidade e o grau de incidência de cada acidente identificado na etapa anterior;
- Redução de Risco: utilizando os dados coletados anteriormente busca-se determinar formas de mitigar os riscos e reduzir a ocorrência de acidentes, a forma de redução costuma se dar com regras mais rigorosas durante o funcionamento e a utilização de funções de segurança na programação do robô.

As etapas descritas acima são realizadas de forma iterativa, ou seja, após a redução dos riscos uma nova avaliação é realizada de forma a sempre reduzir acidentes e garantir que nenhuma situação passe sem ser testada (ROSENSTRAUCH; KRÜGER,2017).

Durante a realização de uma tarefa colaborativa existem dois eventos que podem ocorrer e impedir seu prosseguimento: um é o fato citado anteriormente de que



um ser humano pode não manter o ritmo constante durante todo o processo e outra é a ocorrência de um acidente como um contato indesejado entre a pessoa e o robô. Em ambos os casos talvez exista a necessidade de realizar uma parada nas operações do robô, e tal fato criar uma série de dificuldades quando se trata de uma linha de produção. Desta forma existem estudos que visam o desenvolvimento de formas de contornar tais eventos, como por exemplo a adaptação do robô ao ambiente em que opera (DING; SCHIPPER; MATTHIAS, 2013). A tabela 1 abaixo apresenta as principais diferenças entre os robôs industriais tradicionais e robôs colaborativos (Djuric & al., 2016):

**TABELA 1 – COMPARATIVO ENTRE ROBÔS INDUSTRIAIS TRADICIONAIS E COLABORATIVOS**

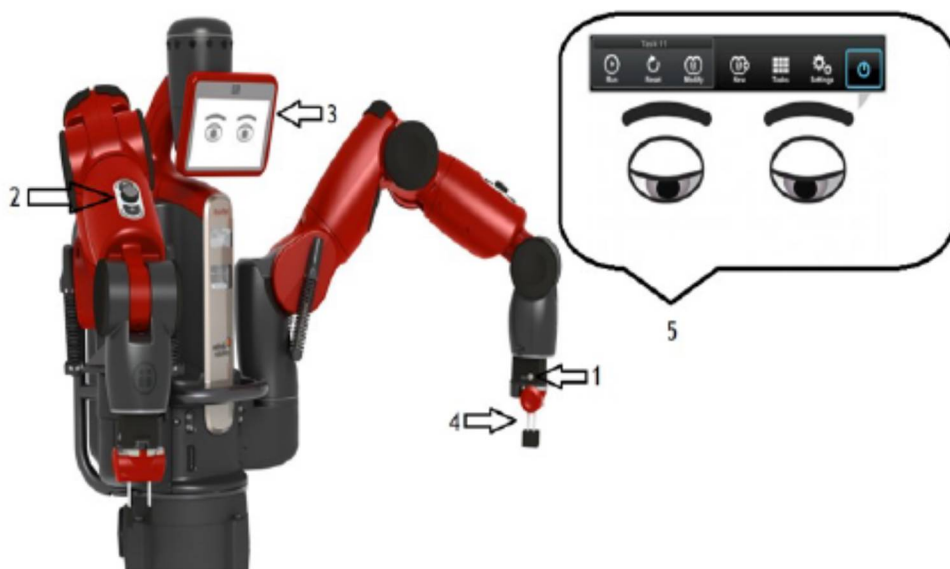
<b>Robô Industrial Tradicional</b>	<b>Robô Colaborativo</b>
Instalação fixa	Instalação flexível, podem ser realocados após a Instalação
Tarefas periódicas e repetitivas Têm de ser programados online ou Off-line	Mudanças frequentes na tarefa Não requerem programação, podem ser instruídos online pelos trabalhadores sem nenhuma programação formal
Não é fácil ensinar, para realizar novas tarefas é necessário reprogramação	É fácil de ensinar, aprendem novas tarefas com instruções simples através da movimentação do cobot no caminho do movimento desejado e registrando o movimento em sequências
Adquiridos e programados para executar uma tarefa específica	Podem ser facilmente realocados para novas Aplicações
Espaço de trabalho separado dos humanos por grades	Espaço de trabalho compartilhado lado-a-lado com os humanos
Interação limitada com os trabalhadores Humanos	Frequente interação com os trabalhadores Humanos
Interação insegura com os humanos	Interação segura com os humanos
Grande investimento, apenas compensa em médias e grandes indústrias	Investimento relativamente baixo, sendo lucrativo para pequenas e médias empresas
Tamanho variável, grandes ou pequenos, e rápidos	Tamanho pequeno e lentos, devido ao fato de compartilharem o espaço de trabalho com os humanos, tem limitações a nível da velocidade de movimento e da carga máxima permitida
Avaliação de risco não solicitada	Avaliação de risco solicitada, uma vez que põe em causa a segurança dos operadores humanos
6 eixos	6 e 7 eixos

Fonte: Djuric & al (2016)

A integração de sensores sofisticados e a aplicação da inteligência artificial permitem a visão artificial, consciência do contexto e a inteligência. Isto produz robôs colaborativos que podem não só interagir com os humanos numa área de trabalho específica sem a necessidade de barreiras de segurança, mas também capazes de antecipar as necessidades de assistência requeridas.

Um exemplo é robô colaborativo Baxter, da Rethink Robotics (FIGURA 22). O robô é constituído pelo corpo do robô, que integra dois braços com um gripper (4) cada, com funcionalidade semelhante à de uma pinça. A empresa que o desenvolveu disponibiliza diversos tipos, dependendo da função a executar e dos objetos que vão mover. Tudo isto funciona graças ao software Intera que vêm incorporado no ecrã (3 e 5) do robô, juntamente com os comandos nos braços 1 e 2.

FIGURA 22 – ROBÔ COLABORATIVO BAXTER



Fonte: Techmind

Para programar o Baxter basta carregar no botão representado pelo número 1 na FIGURA 22. Essa ação coloca o robô em modo gravidade zero, o que lhe permite movimentar o braço sem qualquer esforço. Em seguida, selecciona-se através dos botões no braço (2) a funcionalidade “New”, que aparece no ecrã (quarto comando no número 5 da figura), uma luz azul acenderá em torno dos botões indicando que o robô está pronto para ser programado. A partir de então, move-se o braço do Baxter de acordo com os movimentos necessários para executar a tarefa, após todas essas ações estarem concluídas, selecciona-se o comando “Run” no ecrã.

Nesse momento, o robô está pronto para executar a tarefa sozinho. O Baxter também está apto a realizar diversas tarefas, para isto, basta programá-lo e salvar no seu software. Assim, sempre que for necessário mudar uma determinada tarefa, basta seleccionar o modo desejado que ele irá executar. Desta forma, o robô colaborativo Baxter pode ser programado por uma pessoa que não entenda nada de programação de computadores ou mesmo de robôs. Além disso, graças as diversas câmaras e

sensores que o integram, ele é capaz de parar instantaneamente quando algo se atravessa em seu caminho e quando não está a executar tarefas ele é capaz de fazer o próprio diagnóstico de funcionamento e ainda o download de atualizações automaticamente.

O robô colaborativo Baxter (FIGURA 23) foi adquirido em 2013 pela empresa The Rodon Group, em Hatfield, nos EUA. Em 2015, este ainda se encontrava em operação, tendo recebido, entretanto, várias atualizações de software. Lowell Allen, vice-presidente sênior da produção referiu que o Baxter é considerado como um funcionário, embora não faça pausas para o almoço ou para ir a casa de banho, além de poder trabalhar até três meses sem parar.

Segundo Tony Hofmann, gerente das instalações, o Baxter é usado para longas e curtas operações e devido à sua adaptabilidade é possível coloca-lo em operação onde necessitam dele, evitando assim a necessidade de mais uma pessoa por turno. Hofmann destaca ainda a sua fácil programação, como já referido anteriormente. Todas estas vantagens aliadas à financeira, levaram a empresa a adquirir mais quatro modelos de robôs colaborativos, que acabaram por substituir uma grande parte dos operários de montagem de nível básico e permitir assim aos funcionários mais experientes e qualificados executar tarefas mais exigentes (Deligio & al, 2016).

FIGURA 23 – ROBÔ BAXTER E OPERADOR TRABALHANDO EM CONJUNTO NA PRODUÇÃO



Fonte: The Rodon Group

O primeiro robô colaborativo do mundo, foi instalado em dezembro de 2008 na empresa Linatex (FIGURA 24), pela Universal Robots. A empresa dinamarquesa produtora de robôs foi responsável por vender o primeiro robô industrial a trabalhar em



segurança ao lado de trabalhadores humanos. Ao adquirir o modelo UR5, a Linatex fez algo impensável, em vez de instalar o robô dentro das grades de segurança, como era normal até à altura, eles implementaram-no ao lado dos trabalhadores, e sem nenhuma experiência de programação.

Sem peritos externos, foram capazes de programar o robô através de um ecrã táctil. A Linatex produz diversos componentes plásticos, geralmente pequenos lotes, o que implica a necessidade constante de reprogramação do robô para se adaptar a uma nova tarefa. Assim, devido à sua flexibilidade, os Cobots tornam a execução das tarefas muito mais fácil, explica Jorn Trustrup, gerente de produto da Linatex.

FIGURA 24 – INSTALAÇÃO DO ROBÔ COLABORATIVO NA EMPRESA LINATEX



Fonte: Linatex (2008)

Este acontecimento veio abrir caminho para uma nova visão dos robôs e das suas possibilidades na produção. Enquanto que tradicionalmente os robôs eram considerados monstros mecânicos instalados em jaulas, de forma aos seus movimentos não provocarem danos aos trabalhadores humanos e uma vez instalados num local, raramente eram movidos para outro local, os robôs colaborativos, graças aos seus sensores, podem trabalhar em segurança ao lado dos operadores humanos. Para além da fácil programação e instalação, podem ainda ser movidos com facilidade ao longo das fábricas.

Nesse contexto, os robôs colaborativos são um segmento em rápido crescimento no universo da automatização. Atualmente, este mercado é dominado pelas empresas Universal Robots, com base em Odense na Dinamarca, e pela Rethink Robotics, cujo cofundador é Rodney Brooks do Massachusetts Institute of Technology (MIT). Contudo, esses novos modelos de robôs são relativamente recentes e apesar do seu rápido crescimento, ainda é um mercado claramente inferior aos dos robôs industriais tradicionais.



Atualmente já existem várias soluções de robôs colaborativos no mercado, com uma variedade de fabricantes e de estruturas de Cobots. A eficácia destes em ambientes de produção vai depender da capacidade de integrar a tecnologia de forma a fornecer melhorias nos processos e sistemas. Presentemente muitas indústrias ambicionam introduzir sistemas de interação entre robôs e humanos nas suas linhas de produção principalmente a nível de colaboração.

A fábrica da Audi na Hungria é um exemplo da boa colaboração entre os trabalhadores humanos e os robôs colaborativos. Dois cobots KUKA (FIGURA 25) trabalham na linha de produção dos veículos juntamente com os humanos. Apelidados de Adão e Eva, estes robôs são responsáveis por medir pontos de difícil acesso para os trabalhadores humanos (Audi, 2016).

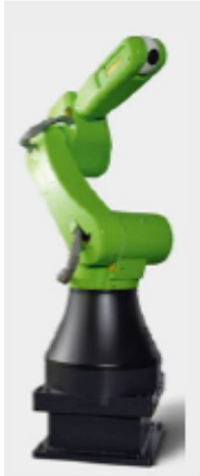
FIGURA 25 – KUKA COBOTS, ADÃO E EVA, NA FÁBRICA DA AUDI, HUNGRIA



Fonte: Fábrica da Audi, Hungria (2018)

A seguir (TABELA 2), de forma a ilustrar os fatos até agora mencionados, são apresentados de forma aleatória alguns dos robôs colaborativos existentes no mercado, salientando as principais características a ter em consideração no processo de aquisição: graus de liberdade, carga útil, repetibilidade, alcance e preço. O número de graus de liberdade refere-se à versatilidade do robô. Um robô industrial requer no mínimo 6 graus de liberdade para ser completamente versátil; a carga útil expressa o peso máximo que o robô pode movimentar; repetibilidade define a capacidade em se voltar a posicionar no ponto anterior; o alcance revela a distância máxima que ele consegue atingir para executar tarefas e o preço, expresso em Dólares dos Estados Unidos.

TABELA 2 – EXEMPLOS DE MODELOS DE COBOTs NO MERCADO  
**FANUC: CR-35iA**



Ano Lançamento	2016
Graus de Liberdade	6
Carga útil	35kg
Repetibilidade	0,04mm
Alcance	1813mm
Descrição	Dificuldade de programação elevada, semelhante aos robôs industriais tradicionais; é o cobot mais poderoso do mercado, devido à sua capacidade de carga elevada, quando comparado com outros robôs colaborativos; vantagem para quem já têm robôs industriais da marca e quer adquirir um que possa trabalhar lado a lado com os humanos.

**MOTOMAN/YASKAWA: HC10**



Ano Lançamento	2017
Graus de Liberdade	6
Carga útil	10kg
Repetibilidade	0,1mm
Alcance	1200mm
Descrição	Fácil programação, simplificando as necessidades de treino, aprende pela orientação através da mão; rápida recuperação das falhas.

**ABB: YUMI**



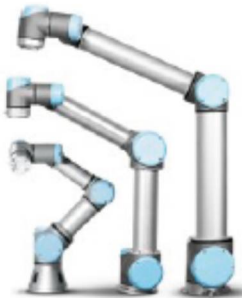
Ano Lançamento	2015
Graus de Liberdade	7 por braço
Carga útil	0,5kg por braço
Repetibilidade	0,02mm
Alcance	559mm
Descrição	Duplo braço; fácil de programar; desenvolvido especialmente para montar pequenos dispositivos eletrônicos.

## KUKA: LBR IIWA 7 e LBR IIWA 14



Ano Lançamento	2013	
Graus de Liberdade	7	
Carga útil	7kg	14Kg
Repetibilidade	0,02mm	0,15mm
Alcance	800mm	820mm
Descrição	Muito fácil de programar; extremamente tecnológico.	

## UNIVERSAL ROBOTS: UR5, UR3 e UR10



Ano Lançamento	2008	2010	2015
Graus de Liberdade		6	
Carga útil	5Kg	3Kg	10Kg
Repetibilidade		0,1mm	
Alcance	850mm	500mm	1300mm
Descrição	Fáceis de programar; projetado para executar tarefas industriais dimensionadas para o tamanho humano; adequado para diversas aplicações.		

Fonte: Cobotsguide, 2018

## 2.2.4. EVOLUÇÃO E POTENCIAL TECNOLÓGICO DA ROBÓTICA COLABORATIVA

O mercado dos Cobots sofreu uma evolução tremenda nos últimos dez anos, as instalação dos chamados 'cobots' cresceu 11%; pandemia é citada como catalisador para acelerar o investimento em automação.

Um relatório divulgado no final de janeiro de 2021 pela Federação Internacional de Robótica (IFR, na sigla em inglês) aponta que o uso de robôs na indústria de manufatura registrou um recorde global em 2019, com média de 113 unidades por 10 mil trabalhadores. Indústrias como a automotiva, plástica, química, eletrônica, metalúrgica e de alimentação são algumas das que têm se destacado na instalação de robôs nos últimos anos.

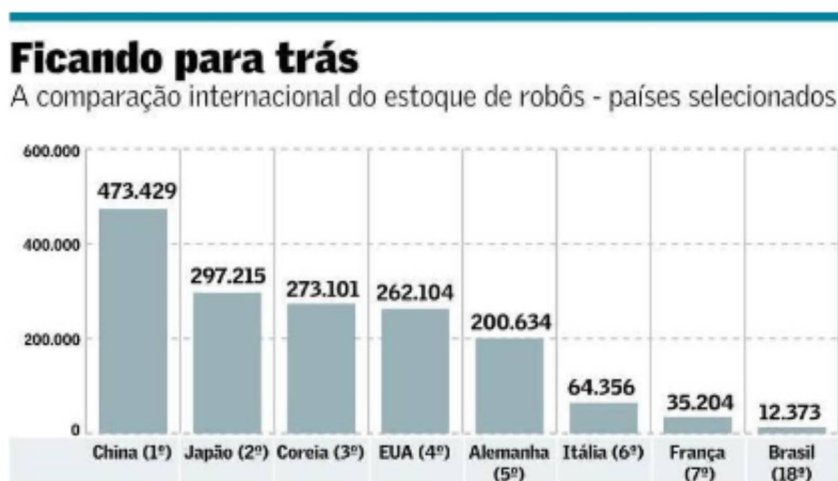
O Brasil ainda tem muito a ser explorado nesse mercado. Ainda que o país conte com 15,3 mil robôs em operação segundo os dados mais recentes da IFR, e lidere a região sul-americana, ainda está atrás de países como México (40,3 mil) e Índia

(26,3 mil), e bem distante de líderes como China (783 mil), Japão (355 mil) ou Estados Unidos (293 mil).

O Brasil ficou para trás em automação industrial nos dez anos entre 2008 e 2017, quando se olha para esse movimento na comparação internacional. Na opinião de especialistas, o País, com pequeno estoque de robôs industriais, terá dificuldade para ingressar na chamada 4ª Revolução Industrial (ou Revolução 4.0).

Segundo a consultoria Idados – que teve acesso aos últimos números divulgados pela Federação Internacional de Robótica (IFR, na sigla em inglês) –, o Brasil tinha 12.373 máquinas do tipo em 2017, apenas 0,6% dos robôs então instalados no mundo. O número põe o Brasil na 18ª posição no ranking das nações mais automatizadas. Hoje as três principais fornecedoras de robôs para o mercado brasileiro (Fanuc, ABB e Yaskawa) estimam que esse estoque gire em torno de 16 mil autômatos. A FIGURA 26 abaixo mostra uma comparativa de tal pesquisa divulgada pela IFR.

FIGURA 26 – COMPARAÇÃO INTERNACIONAL 2017



Fonte: IFR Feebbase

Além de pequeno para uma economia do tamanho da brasileira, a oitava do mundo, mais da metade desse estoque de robôs (54%) está concentrado na indústria automobilística. Restam poucas máquinas desse tipo – ou mesmo vácuos de automação – nos demais setores.

Ainda assim, as três fabricantes de robôs mantiveram o ritmo de crescimento anual no País, com as vendas compensadas pela entrada de autômatos em outras indústrias, como a de alimentos e bebidas, farmacêutica e linha branca. A tendência é que as altas se mantenham. O "Guia Semestral Global da Investimentos em Robótica", da consultoria IDC, prevê aumento 21% dos investimentos em automação na América



Latina para 2019, um esforço de US\$ 1,26 bilhão, dos quais 73% (US\$ 924 milhões) serão alocados somente em robôs industriais.

Os robôs colaborativos, ou cobots, são os grandes responsáveis pelo volume ascendente de vendas mundo afora. Compactos, versáteis e reprogramáveis, funcionam em geral como braços mecânicos nas linhas de montagem. “A redução do tamanho dos robôs e de custos permite que empresas de médio porte, de 300 a 400 funcionários, passem a automatizar as linhas. E também há boas chances de crescimento geográfico. Hoje ainda há concentração no estado de São Paulo, mas já vemos um movimento gradual para outras regiões”, disse José Rizzo, presidente da Associação Brasileira de Internet Industrial (ABII).

#### 2.2.5. AUTOMAÇÃO CONDUZINDO O FUTURO DA MANUFATURA

A tecnologia do futuro no segmento de indústrias, vem tomando conta do ambiente “chão de fábrica” conduzindo atualização e domínio parcial, e, ou total em algumas indústrias, nos campos de automação. Indústria 4.0 é um conceito atual que envolve inovação tecnológica e melhora em processos. Esta digitalização está modernizando indústrias ao redor do mundo, trazendo benefícios, e maior eficiência e facilidade de customização.

Em uma pesquisa global com 1.650 grandes e pequenas empresas da Europa, Estados Unidos e China, 84% das empresas disseram que introduzirão ou aumentarão o uso da robótica e da automação na próxima década, enquanto 85% disseram que a pandemia foi um “marco de mudança” para seus negócios e indústria, com o COVID-19 sendo um catalisador para acelerar o investimento em automação. Quase metade das empresas 43% disseram que estavam procurando a robótica para ajudá-las a melhorar a saúde e segurança no local de trabalho, 51% disseram que a robótica poderia aumentar o distanciamento social e mais de um terço (36%) estavam considerando usar a automação robótica para melhorar a qualidade de trabalho para seus funcionários. Mais imediatamente, 78% dos CEOs e Diretores de empresas disseram que recrutar e reter funcionários para trabalhos repetitivos e ergonomicamente desafiadores é difícil.

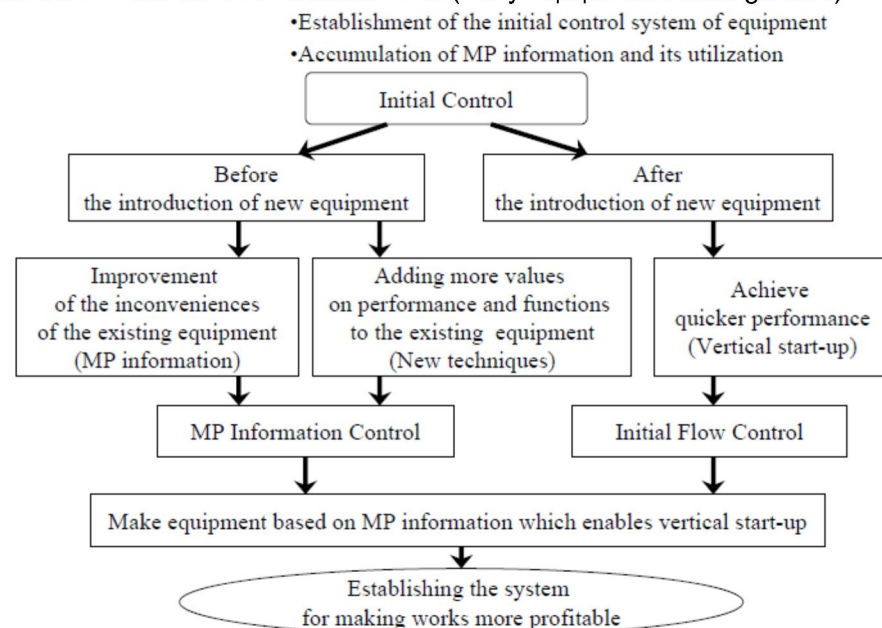
Os usuários familiarizados com a operação de um tablet ou smartphone serão capazes de programar e reprogramar os novos cobots com facilidade, usando as ferramentas de configuração rápida.

## 2.3. EEM – GESTÃO ANTECIPADA DE EQUIPAMENTOS

### 2.3.1. CONCEITO DA GESTÃO ANTECIPADA DE EQUIPAMENTOS

De acordo com NAKAJIMA (1989, pág. 347), como o ciclo de vida dos produtos está cada vez mais curto, deve-se criar um sistema que garanta a implantação de novos produtos e processos de forma eficiente. A redução do tempo entre o início da mudança de tecnologia (onde a produção em geral é em baixa escala e problemática), para a otimização do processo (demonstrada através da produção em larga escala) é o objetivo do Pilar de Gestão Antecipada de Projetos e Produto, cujos conceitos básicos estão representados na FIGURA 27 abaixo.

FIGURA 27 – CONCEITO BÁSICO EEM (Early Equipment Management)



Fonte: NAKAJIMA (1989, pág. 347)

Muito conhecido como EEM (Early Equipment Management), é a contribuição do conhecimento adquirido na fábrica e que é fornecido aos projetistas para eliminar os problemas, melhorar as instalações e reduzir os tempos de instalação. Esta experiência é usada ainda nas fases de projeto e aviamento, de uma maneira preventiva.

Para que isso aconteça, o Pilar é responsável por eliminar quebras, defeitos, falhas de segurança, etc., antes mesmo que o equipamento seja instalado, proporcionando assim um start up vertical para o novo processo (mudança de máquina e/ou produto).

Espera-se que a nova tecnologia comece a ser utilizada com eficiência, no mínimo, igual à tecnologia utilizada anteriormente em um primeiro momento, sendo aperfeiçoada com o tempo gerando assim melhores resultados para a empresa.

Em algumas empresas, este Pilar foi dividido em dois, sendo um Pilar responsável pela Gestão Antecipada de Projetos e um outro pela Gestão Antecipada de Produtos.

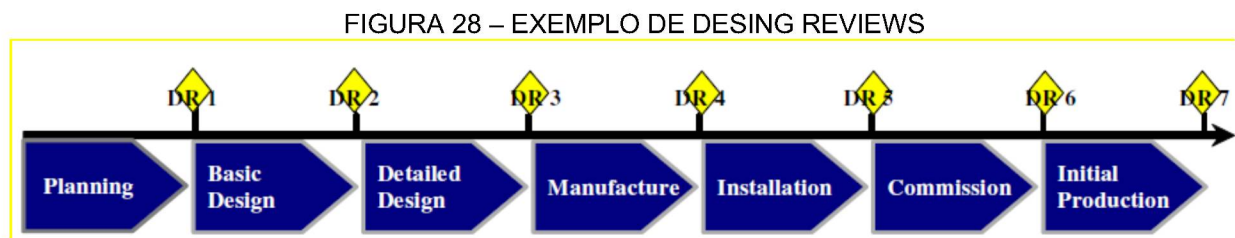
A metodologia de EEM (Early Equipment Management) consiste na utilização sistemática e organizada de uma série de técnicas, conhecimentos, ferramentas e habilidades com os seguintes objetivos:

- a) Prever ainda na fase de projeto, os problemas potenciais do equipamento/produto/instalação e saná-los preventivamente;
- b) Diminuir o tempo de instalação de máquinas e equipamentos, fazendo com que estes comecem produzindo a plena capacidade, sem a necessidade de ajustes;
- c) Alimentar um sistema de informações – MP InfoSystem (Sistema Informativo de Prevenção de Manutenção) – que coleta informações durante a fase de instalação e operação de equipamentos e as utiliza em futuras instalações e projetos com o intuito de minimizar ou eliminar problemas já conhecidos e evitar a necessidade de manutenção (prevenção da manutenção).

Estes objetivos são bastante complexos, exigindo muito conhecimento, habilidade e empenho de seus participantes. O Pilar EEM não trabalha sozinho, pois suas atividades são desenvolvidas conjuntamente com os Pilares Manutenção Autônoma, Manutenção para a Qualidade, Segurança & Meio Ambiente e Manutenção Planejada. Isto ocorre porque quando realiza-se um projeto, na metodologia WCM, este deve ser conduzido por um time. Este deve ser formado por um membro do pilar de Manutenção Autônoma, outro da Manutenção Planejada (padrões de lubrificação, Check List de manutenção), da Manutenção para a Qualidade (determinação dos pontos “Q”, Check List de qualidade) e Segurança & Meio Ambiente (análise de riscos, Check List de segurança). Dependendo do tipo do projeto devem ser envolvidos membros de outros pilares também.



Segundo Pilar EEM (2001, pág.3), os chamados Design Reviews são todas as fases que contemplam um projeto desenvolvido dentro da metodologia do pilar EEM. Depende de cada empresa quantas fases ou quantos DRs um projeto poderá ter, porém estes devem alcançar um nível de abstração do projeto desde a fase de iniciação, passando pela fase de planejamento, controle, execução e, por fim, encerramento. Um exemplo da utilização desta metodologia pode ser visto na FIGURA 28.

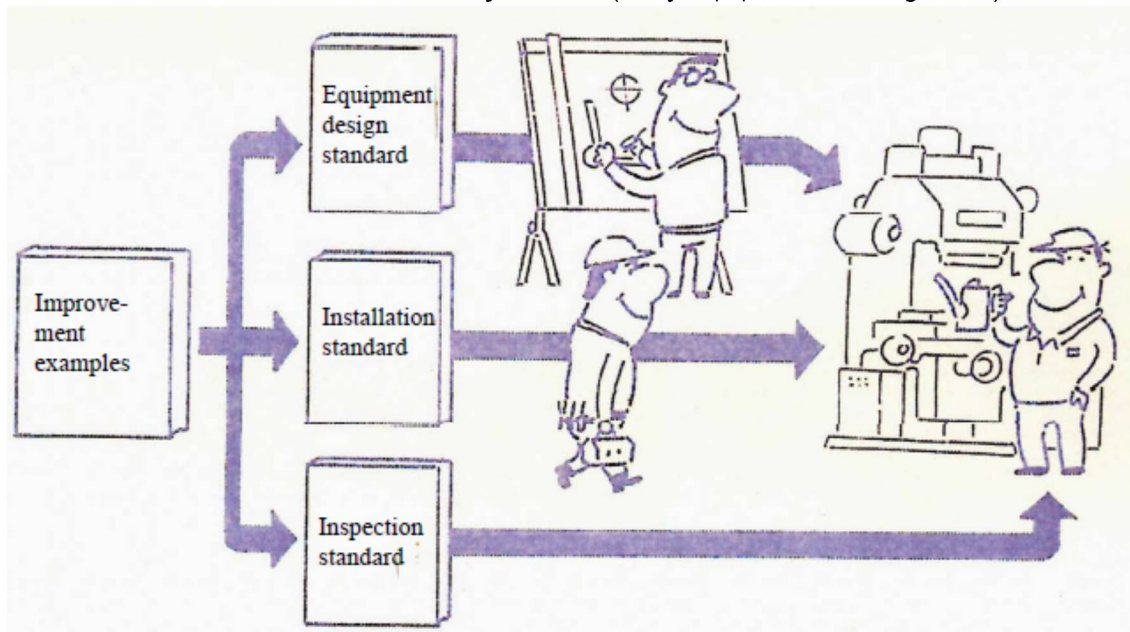


Fonte: Pilar EEM (2001, pág.3)

Podendo observar que existem 7 fases, são elas: planejamento, projeto básico, projeto detalhado, fabricação, instalação, comissionamento e início de produção. Ao término de cada fase é realizada uma auditoria, onde é avaliado o andamento do projeto, dentro de alguns fatores, como: custo, prazo, qualidade etc., os quais são fundamentais para a decisão do chamado “go” ou “não-go” do projeto, ou seja, se o projeto irá adiante, será cancelado ou postergado. Esta auditoria é feita para a empresa que está investindo não ser prejudicada, de forma a evitar carry over, em outras palavras, a perda de dinheiro no investimento feito. Vilhena, Paulo & Rodrigues, Benedito. (2017). A Importância da Gestão Antecipada na Melhoria Contínua do Processo de Aquisição de Novos Equipamentos.

O pilar Gestão Antecipada tem com propósito alcançar, rápida e economicamente, produtos que são fáceis de fazer e equipamentos que são fáceis de usar. Todas as atividades desde a concepção de uma peça de equipamento até a sua instalação e teste de operação são vistas como um projeto único e devem ser padronizados de forma que cada necessidade de melhoria possa ser tratada de maneira mais adequada de acordo com sua característica, assim como representada na FIGURA 29 abaixo.

FIGURA 29 – PADRONIZAÇÃO EEM (Early Equipment Management)



FONTE: Material de divulgação interno da empresa (2019).

#### 2.3.1.1. Indicadores do EEM

Dentro do pilar EEM, os principais indicadores são voltados para a entrega do equipamento a produção, sem gerar paradas de manutenção, dentro do prazo estabelecido previamente, no custo ou budget aprovado e na data em que foi alcançada a máxima eficiência da máquina em produção. Em linhas gerais, os indicadores do pilar são:

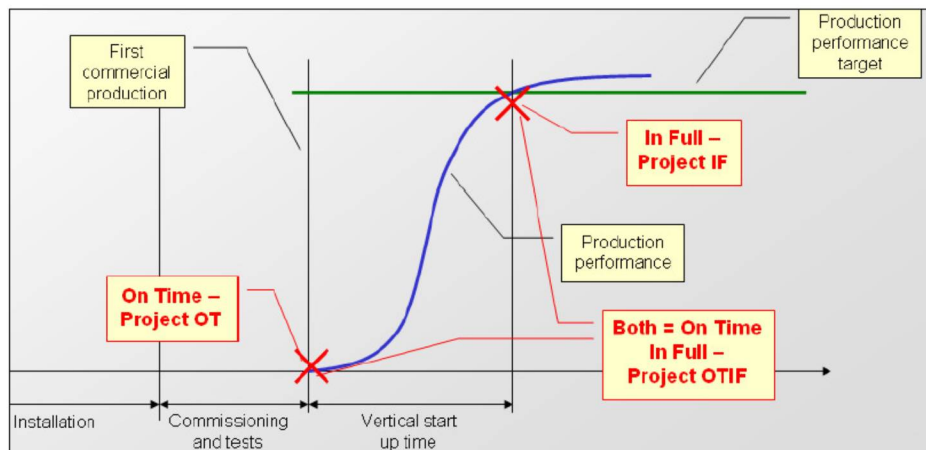
- ✓ On-Time (OT): início da produção na data planejada, ou seja, no prazo;
- ✓ In-Full (IF): alcançar o desempenho ou eficiência esperada do equipamento ou máquina dentro do prazo planejado;
- ✓ On-Time, In-Full (OTIF): alcançar os dois indicadores mencionados anteriormente, atingindo a convergência do start-up vertical;
- ✓ On-Cost (OC): concluir o projeto dentro do orçamento aprovado, ou seja, dentro do custo.

Os indicadores do pilar EEM são mostrados na FIGURA 30, onde pode-se observar que há um tempo estimado para a instalação do projeto, outro para comissionamento e testes do equipamento e, o tempo de start-up vertical. Vê-se pela figura 4 que após o projeto ser instalado, comissionado e testado este atinge o indicador de On Time

(OT), já quando a máquina atinge o desempenho de produção esperado, ele atinge o In Full (IF).

Dessa forma, quanto menor o número de ajustes que devem ser feitos após disponibilizar o equipamento para produção, mais rapidamente o projeto atinge o OTIF (On Time In Full).

FIGURA 30 – INDICADORES DO PILAR EEM (OTIF)

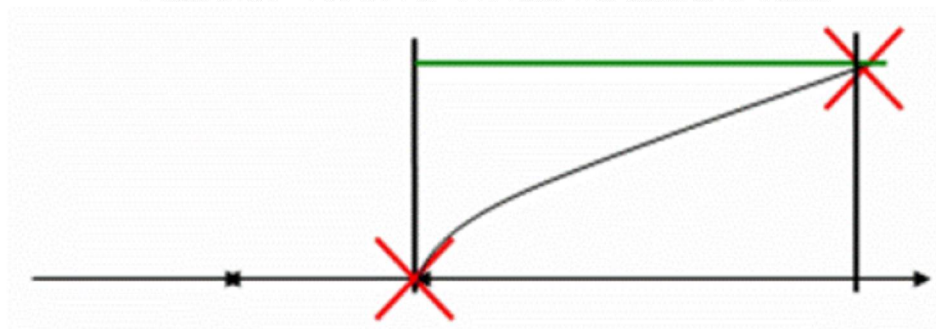


FONTE: Material de divulgação interno da empresa (2019).

Apresentado um exemplo de um projeto ideal, o qual atingiu o OTIF sem a necessidade de nenhum ajuste pós-comissionamento. Esta condição na prática é muito difícil, salvo em exceções quando a máquina vem testada do fornecedor e quando trata-se de um equipamento chamado Standard Line, o qual é padrão em outras fábricas e com tecnologia conhecida.

Quando um projeto é instalado, comissionado e testado em um curto período, porém ao colocar o sistema em produção o desempenho não atinge a meta estabelecida no prazo previamente acordado, a curva de OTIF é acentuada, conforme mostra a FIGURA 32. Na prática isto pode custar muito caro, devido perdas de produção e possibilidade de parada de uma linha inteira, se for o caso. Então, a metodologia WCM deve ser seguida rigidamente para evitar este tipo de situação, pois segundo a metodologia do pilar EEM, o planejamento do projeto é a fase mais importante na implantação deste.

FIGURA 31 – EXEMPLO DE PROJETO COM OTIF RUIM



FONTE: Material de divulgação interno da empresa (2019).

### 2.3.2. ORIGEM DO EEM NO WCM (World Class Manufacturing)

O princípio Early Equipment Management (EEM) embutido na filosofia WCM pode trazer melhorias substanciais para o desenvolvimento de novos produtos existentes de uma empresa e processos de introdução envolvendo ativos físicos de capital. EEM é impulsionada pela crença de que por trás da planta e dos equipamentos usados em qualquer processo de produção, existem três grupos funcionais que são parceiros essenciais para otimizar a introdução de novos produtos e equipamentos, a saber:

- a. Comercial (vendas, marketing e finanças)
- b. Engenharia (design, produto, ferramentas, equipamento, processo e aquisição)
- c. Operações (operadores e mantenedores).



Esta parceria de três vias requer um verdadeiro trabalho em equipe em um esforço sustentado para melhorar o desempenho do gerenciamento de projeto e design por meio da identificação e eliminação antecipada de perdas ocultas, como manutenção, operabilidade e confiabilidade deficientes, além das considerações essenciais de segurança, energia e meio ambiente. Isso se baseia na realidade aceita de que até dois terços dos custos totais do ciclo de vida são determinados nos estágios iniciais de conceito e especificação de projeto: o pilar EEM visto na FIGURA 33 abaixo.

FIGURA 32 – O PILAR EEM NO WCM

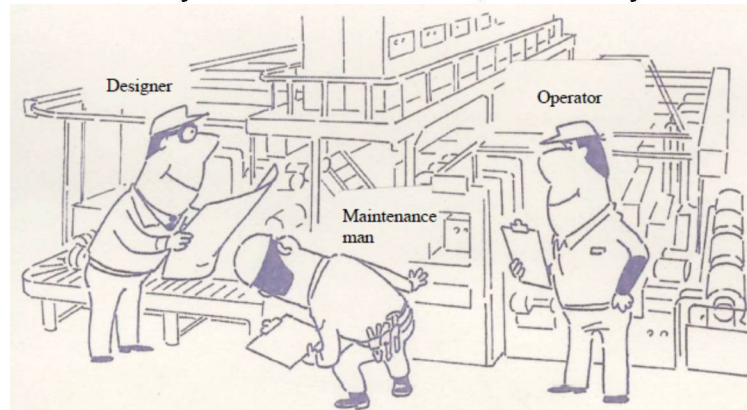


FONTE: Quality way (2019)

Aproveitando a base de conhecimento de seus operadores e manutentores da linha de frente existentes no estágio de conceito e design de alto nível em diante, você tem uma chance realista de minimizar o risco de retrofits dispendiosos e disruptivos durante e após o comissionamento de novos equipamentos de capital.

O oitavo pilar fundador do WCM (FIGURA 34), Early Equipment Management (EEM) também é ocasionalmente referido para destacar o fato de que se trata do envolvimento de operadores e manutentores existentes no início de um equipamento de capital investimento, nomeadamente na fase de conceito e definição.

FIGURA 33 – COOPERAÇÃO ENTRE DESIGNER, MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO



FONTE: Material de divulgação interno da empresa (2019).

A FIGURA 35 ilustra o alinhamento do EEM com os quatro marcos de maturidade (MS1-MS4) e como esse alinhamento entre todos os cinco pilares da fundação se move em direção ao objetivo de buscar os quatro zeros: zero acidentes, zero defeitos, zero avarias e zero intervenções do operador.

FIGURA 34 – ALINHAMENTO DO EEM COM OS QUATRO MARCOS DE MATURIDADE DO WCM (MS1 - MS4)

Five Foundation Pillars of TPM	MS 1 – Introduction	MS 2 – Refine BP and Standardise	MS 3 – Build Capability	MS 4 – Towards 4x zeros
Increase OEE	Formalise & gain control	Standardise and in control	Transform and improving	Optimise and able to forecast
Front line operator asset care (A.M.)	Define	Awareness and training	Practice with support	Self-directed
Planned Maintenance and Q of M	Restore	Simplify	Stabilise	Extend
Skill Development	Standardise	Improve	Transfer skills	Systemise
Early Equipment Management	Define	Design	Refine	Improve

FONTE: TPM – a foundation of operational excellence. (2020).

Os princípios de gerenciamento de equipamentos iniciais EEM é uma forma sistemática e estruturada de usar o bom senso. Ou seja, se você for projetar ou comprar uma nova máquina, certifique-se de envolver os operadores e manutentores existentes nas decisões de investimento vitais, explorando sua base de conhecimento prático existente na primeira oportunidade possível. É geralmente aceito que a área comercial

e financeiro de uma organização de manufatura precisa de uma entrada antecipada, junto com seus colegas de engenharia de projeto, a fim de definir as expectativas do cliente e as diretrizes financeiras e de desempenho dentro das quais uma nova máquina ou processo deve funcionar. O EEM sugere que haja um terceiro membro vital dessa parceria, que é a Operações.

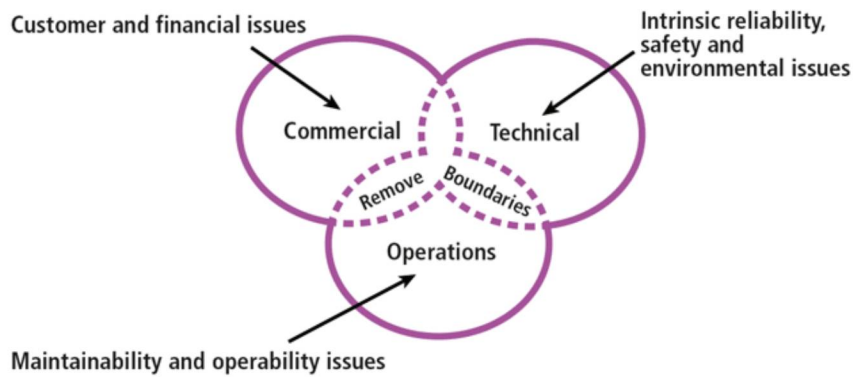
O objetivo é adquirir uma máquina ou processo que seja fácil de operar e manter, considerando as opiniões dos operadores e manutentores da linha de frente no estágio de concepção do projeto, não no estágio de comissionamento e ramp-up, quando é tarde demais ou caro para mudar as coisas. Em outras palavras, por trás da planta e dos equipamentos usados em qualquer processo de operação existem três grupos funcionais (ver FIGURAS 36 e 37) que são os parceiros essenciais para a introdução de novos produtos e equipamentos, a saber:

- a. Comercial (vendas, marketing e finanças)
- b. Engenharia (design, produto, ferramentas, equipamento, processo e aquisição)
- c. Operações (operadores e manutentores)

A filosofia EEM reconhece que essas atividades devem ser coordenadas e focadas nos objetivos do WCM como uma responsabilidade compartilhada. A parceria requer um impulso sustentado para melhorar o desempenho do gerenciamento de projeto e design por meio da identificação e eliminação antecipada de perdas ocultas, como manutenção, operacionalidade, confiabilidade, segurança e meio ambiente deficientes. Essas perdas devem ser detectadas, tratadas e eliminadas no início do processo de gerenciamento do equipamento, e não quando o equipamento chega ao chão de fábrica para iniciar a produção - onde o objetivo pode ser descrito como “operação sem falhas desde o primeiro dia”.

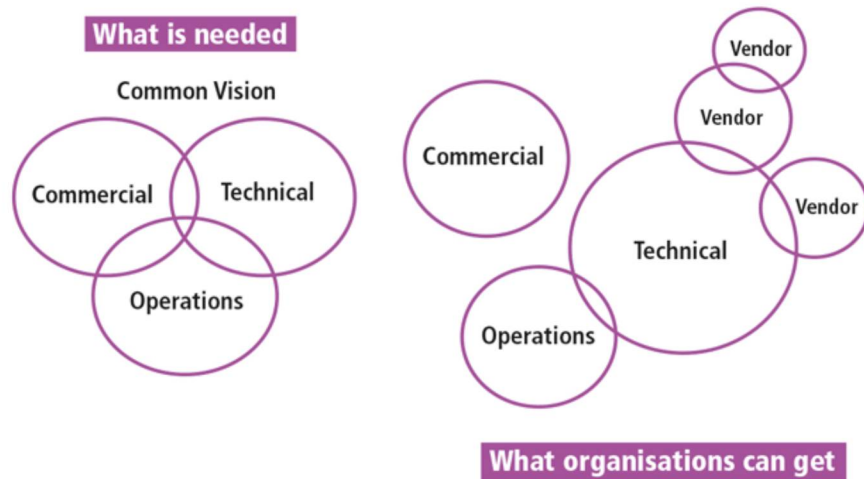


FIGURA 35 – OS PARCEIROS ESSENCIAIS DO EEM



FONTE: TPM – a foundation of operational excellence. (2020).

FIGURA 36 – O QUE AS ORGANIZAÇÕES TENDEM A OBTER SEM EEM



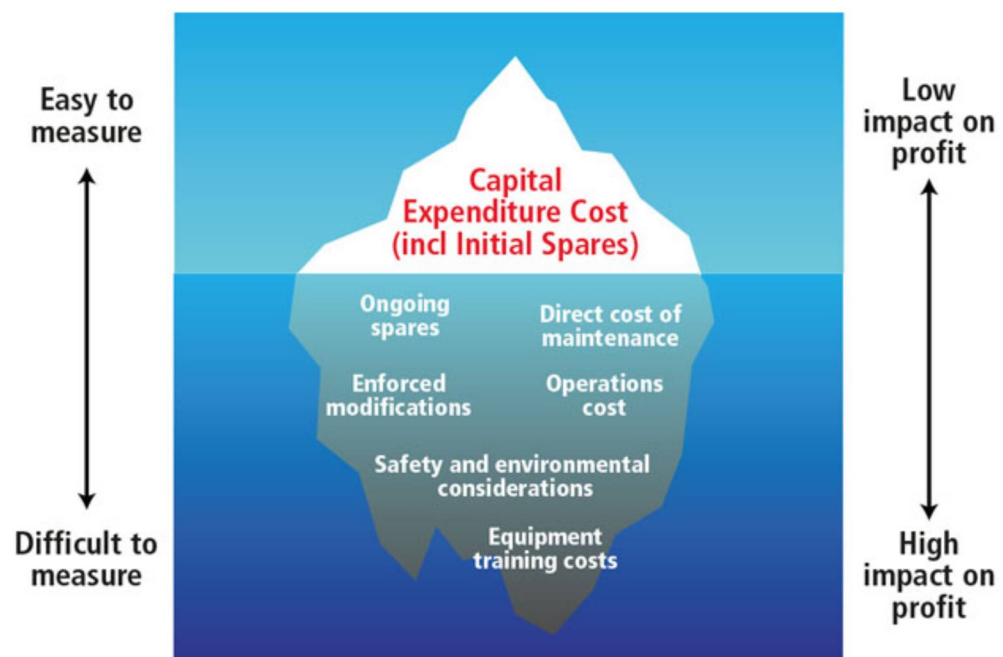
FONTE: TPM – a foundation of operational excellence. (2020).

### 2.3.2.1. Os custos ocultos das decisões de investimento

Como o iceberg mostrado na FIGURA 38, os verdadeiros custos das decisões de investimento estão ocultos sete oitavos. É fácil medir o custo de capital quando uma nova máquina ou processo é comprado, mas os custos de possuir o equipamento ao longo de sua vida útil (referido aqui como custos totais do ciclo de vida) incluirão:

- ✓ o custo de sobressalentes
- ✓ despesas de manutenção
- ✓ quanto custa o equipamento para operar

FIGURA 37 – O VERDADEIRO CUSTO DAS DECISÕES



FONTE: TPM – a foundation of operational excellence. (2020).

Os custos de oportunidade do desempenho ineficaz e, portanto, baixo OEE. Um item de equipamento que custa menos do que outro no momento da compra pode custar significativamente mais para operar e consertar ao longo de sua vida útil.

Somente estimando esses custos contínuos, prevendo seu impacto e comparando as diferentes opções e soluções potenciais no início, pode-se obter uma melhor compreensão do valor agregado e, portanto, da lucratividade desse ativo no longo

prazo. Se o equipamento não atingir a taxa de operação especificada e causar preocupações ambientais ou de segurança, o impacto na lucratividade pode ser significativamente maior do que a diferença inicial no preço de compra. O processo EEM pode não resolver todos esses problemas, mas força as organizações e fornecedores a planejar e prever melhores resultados.

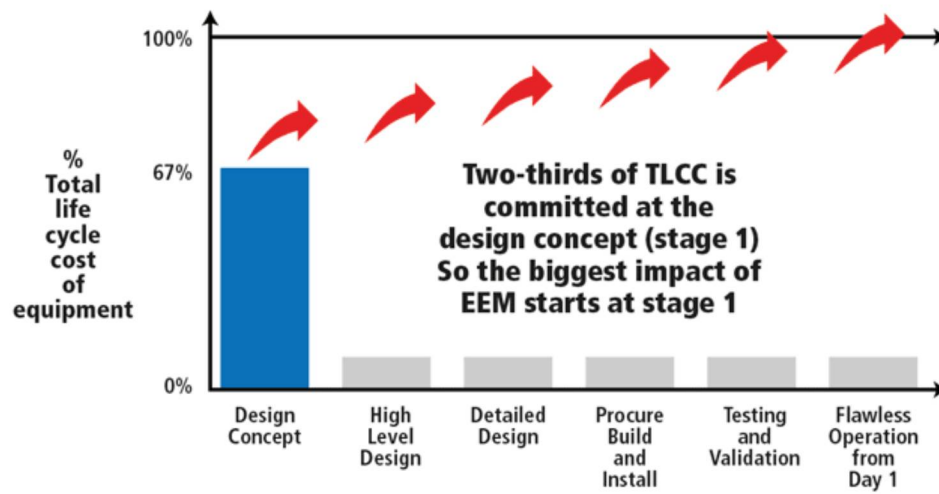
#### 2.3.2.2. *Lidando com o 'vício da urgência'*

Um dilema que muitas empresas enfrentam é o que pode ser chamado de “vício da urgência”, onde cronogramas de projetos e promessas irrealistas conspiram contra o envolvimento das pessoas adequadas no momento certo. A urgência em cumprir os prazos de design significa que as ideias são definidas e selecionadas e o projeto passa para a fase seguinte, sem reflexão, desafio, discussão e debate suficientes. Isso se baseia na crença fundamental e na realidade de que até dois terços dos custos totais do ciclo de vida são fixos nas fases de conceito de design inicial e de especificação de design de alto nível. Daí a necessidade de o pilar EEM ser incorporado no sistema WCM para garantir que todas as partes estejam envolvidas neste estágio crítico.

Na FIGURA 39, apresenta os custos estão comprometidos, seis fases principais dentro do conceito de ciclo de entrega são propostas, conforme segue:

- ✓ Conceito de design
- ✓ Design de alto nível
- ✓ Projeto detalhado
- ✓ Adquirir, construir e instalar
- ✓ Teste e validação
- ✓ Operação perfeita desde o primeiro dia.

FIGURA 38 – COMPROMETIMENTO DOS CUSTOS



FONTE: TPM – a foundation of operational excellence. (2020).

### 2.3.2.3. *Melhorias que o EEM pode trazer para os Negócios*

A fim de identificar o que a filosofia EEM pode adicionar ao desenvolvimento de novos produtos existentes de uma empresa e, portanto, aos processos de novos equipamentos, a lógica é a seguinte:

Existem três técnicas principais de WCM para Design usadas via EEM, que são chamadas de:

- ✓ Teste objetivo.
- ✓ Gestão de base de conhecimento.
- ✓ Gerenciamento de marcos.

O potencial do EEM ao focar na prevenção de manutenção e na contribuição e impacto das operações. É necessário ser muito específico sobre o que realmente significa a frase “explorar o conhecimento existente”. Uma das melhores maneiras de fazer isso, no que diz respeito ao WCM, é lembrar-se do que as equipes de operadores e manutenção experimentam quando trabalham nas oito etapas de equipamento em projetos-piloto de WCM em ativos existentes. Eles podem trazer esse conhecimento que é baseado no aprender fazendo - para a próxima geração de equipamentos e, portanto, para as discussões do EEM.

#### 2.3.2.4. *Benefícios potenciais da adoção da abordagem EEM*

O Gerenciamento de Equipamentos Antecipados demonstra oferecer benefícios em três áreas principais de equipamentos, pessoas e negócios:

##### **Benefícios do equipamento:**

Definindo uma visão de front-end para buscar uma operação perfeita desde o início da produção no primeiro dia. Maior confiabilidade, qualidade do produto e produtividade. Trabalho padrão estabelecido e procedimentos de melhores práticas antes do start-up, incluindo foco nas listas de verificação.

##### **Benefícios para as pessoas:**

Feedback estruturado garantindo que todas as opiniões sejam consideradas e respeitadas, conhecimento prévio e experiência capturados e incorporados.

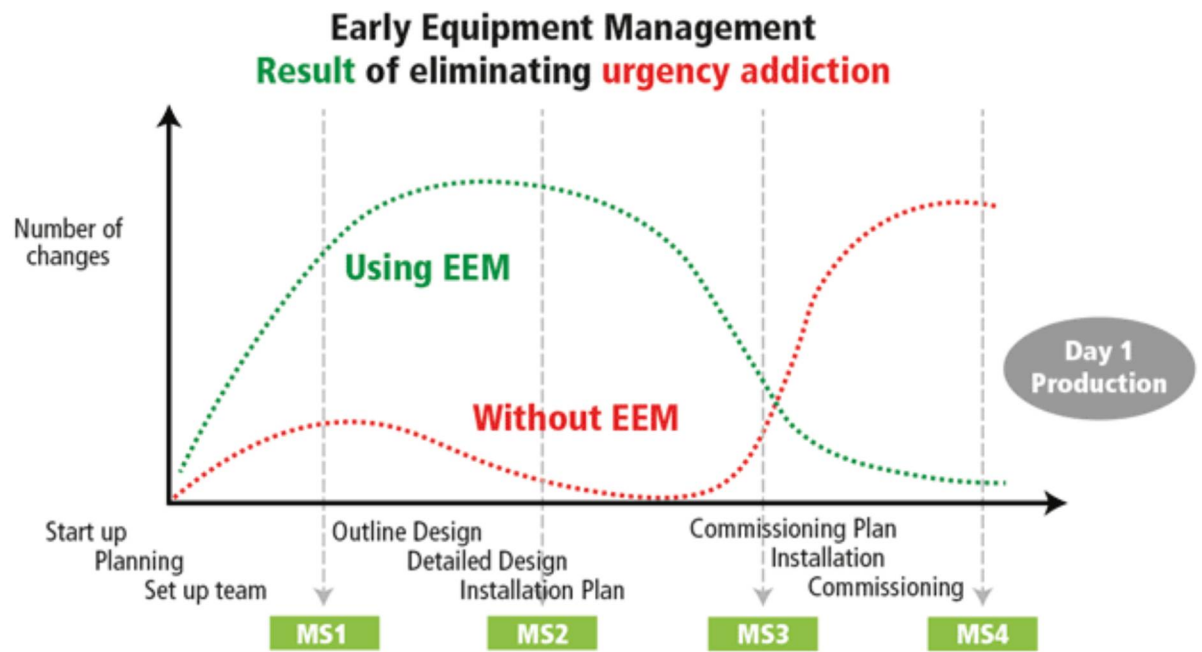
Identificação antecipada de requisitos de habilidades, com treinamento iniciado antes do comissionamento, envolvimento antecipado gerando confiança, propriedade e expectativas realistas.

##### **Benefícios para o negócio:**

Redução nos custos do ciclo de vida como uma rota mensurável para aumentar a lucratividade, assinaturas de marcos solicitando uma revisão regular, estruturada e precisa do negócio, aumento da produção mais rápido com indicadores-chave de desempenho acordados antes do início.

A FIGURA 44 abaixo ilustra por que o EEM é uma maneira útil de ilustrar o efeito “antes” e “depois” do uso da filosofia EEM. A linha verde ilustra como o sistema EEM captura mudanças significativas no impacto do custo do ciclo de vida total, que são vistas como oportunidades no início do ciclo de desenvolvimento. Isso é o oposto da linha vermelha, onde as mudanças são forçadas na equipe como necessidades caras de retrofit.

FIGURA 39 – EFEITO ANTES E DEPOIS EEM



Fonte: TPM – a foundation of operational excellence. (2020).

### 3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A metodologia adotada foi baseada para condução do projeto foi o EEM (Gestão Antecipada de Equipamentos), uma das chamadas “áreas foco” do Sistema de Produção da empresa. Cada área foco trata um dos fatores que compõe o planejamento estratégico do Sistema de Produção a ser adotado pela empresa.

O EEM é a área foco dedicada à introdução de novos equipamentos na produção e seus sistemas. Cooperar com fornecedores dos equipamentos até a fase de “ramp up”, para melhorar a confiabilidade do equipamento e do processo, buscando evitar custos causados por uma análise de pré-requisitos ineficaz de todos os problemas potenciais relacionados ao novo equipamento. Desta forma, visa a redução de custos extras não previstos e redução do tempo de introdução no processo de produção.

Tem por objetivo também entender e racionalizar sobre o fluxo de trabalho, destacando os problemas ainda nas fases preliminares do projeto, ou seja, quando fica mais barato resolvê-los e a fim de viabilizar melhores soluções e implementá-las de forma mais eficaz. Isto somente é possível com a participação e trabalho em equipe de um grupo multifuncional representando as demais áreas foco. Para cada projeto, o grupo multifuncional é qualificada por habilidades para cada tarefa relacionada ao projeto, ou seja, dependendo do tipo do projeto diferentes pessoas podem ser selecionadas para trazer os melhores resultados compatíveis com seus departamentos e áreas focos em que atuam. Tais representantes encarregam-se de responder às listas de verificação, relatar defeitos de soluções anteriores, resolvê-los na nova gestão de equipamento e aprovar etapas.

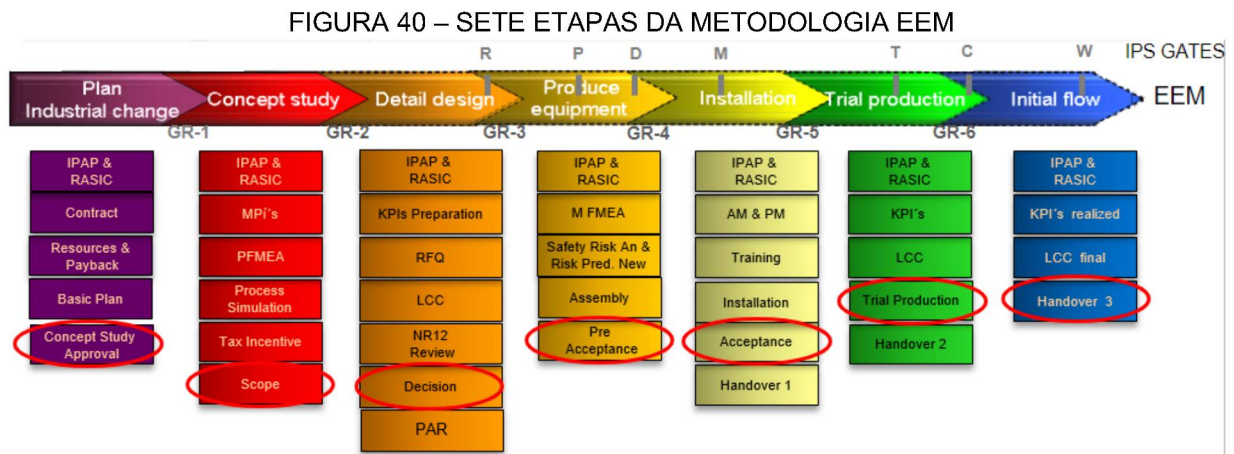
Isto torna os resultados e soluções mais alinhados com o plano estratégico para o Sistema de Produção da empresa. Neste sentido, a metodologia EEM contempla alguns objetivos que contribuem no atingimento dos resultados esperados pela organização. Estes objetivos podem ser descritos como:

- a) Alta confiabilidade das máquinas e qualidade do produto
- b) Seguir o cronograma e o orçamento planejado
- c) Evitar custos extras após a introdução no processo de produção
- d) Garantir um ramp up rápido e eficaz
- e) Ciclos de manutenção autônoma e preventiva
- f) Reduzir os custos do ciclo de vida (LCC)



- g) Introduzir máquinas com configurações rápidas para a produção e facilmente acessíveis para manutenção

Para atingir tais objetivos, o EEM é subdividido em 7 etapas (7 steps), onde cada etapa passa por critérios pré-definidos a fim de gerar documentação e robustez nas análises de requisitos, conceitos, soluções, cronogramas, etc. A FIGURA 45 abaixo demonstra as 7 etapas da metodologia EEM adotada.



FONTE: VPS Área Foco EEM (2019)

Esta metodologia EEM é relativamente recente na organização do Sistema de Produção, por isso foi escolhida para ser usada neste projeto afim de aplicar a metodologia para explorar sua aplicação e aprender como pode ser melhor adaptada para o processo de aquisição de novas técnicas.

Para cada etapa do projeto, existem alguns documentos padronizados para documentar as análises e as informações pertinentes a cada etapa do projeto. Durante as descrições de cada uma das etapas do projeto, ver itens 3.1 a 3.3 deste trabalho, é possível identificar toda a documentação gerada que serviram para validar e embasar as decisões e aprovações da gerência para cada etapa.

Toda a documentação fica disponível para consulta de qualquer integrante das áreas envolvidas no projeto, tudo fica organizado e salvo num site de compartilhamento interno, conhecido como "SharePoint" para o projeto de alteração do produto. Tal Sharepoint fica disponível tanto para integrantes locais quanto para integrantes da matriz na Suécia, por isso documentação em geral deve ser produzida no idioma inglês para que possa ser usado por outras plantas para entender e acompanhar como o projeto foi conduzido.

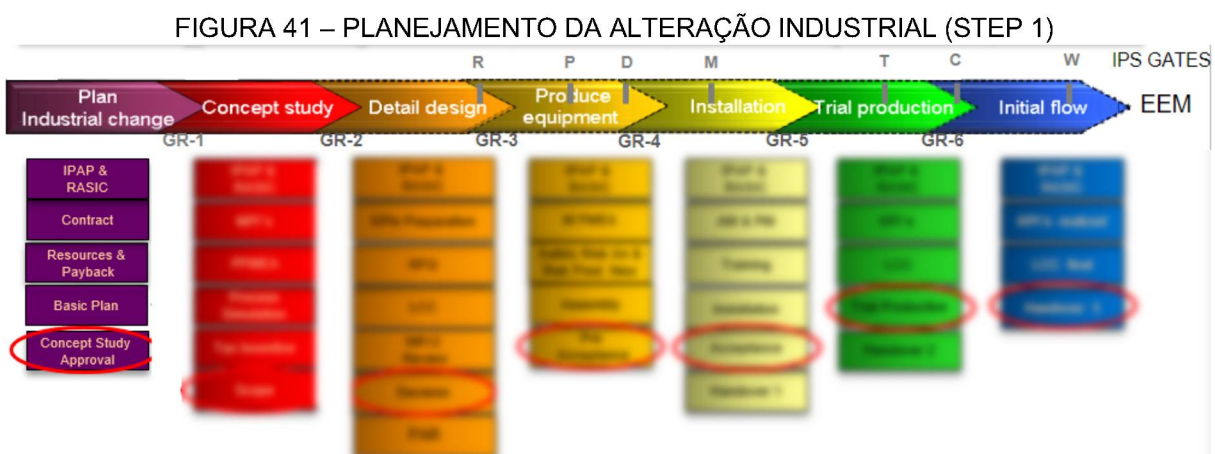
Detalhes do que deve ser feito em cada uma das etapas estão descritos nos itens que detalham o projeto como um todo, além disso toda a documentação real do projeto demonstram qual o formato e como utilizar as documentações criadas para condução do projeto.

### 3.1. PROJETO PRELIMINAR (STEPS 01 ao 03)

A fase do projeto preliminar compreende todo o planejamento para a definição do escopo, englobando a documentação necessária para definir os objetivos, identificar os riscos, descrever os requisitos esperados e assim aprovar o conceito que será desenvolvido. Segundo a metodologia EEM escolhida pela empresa, esta fase passa por 03 etapas (steps) para que ao final o grupo de gestores tenham informações suficientes para aprovar o desenvolvimento do projeto.

#### 3.1.1. STEP 01 – Planejamento: Alteração Industrial

A etapa de planejamento da alteração industrial (step 01) refere-se ao levantamento das informações básicas (ver FIGURA 46 abaixo) para planejar a execução do projeto, demonstrando quais seriam os recursos, as responsabilidades e o tempo necessários para desenvolver um conceito preliminar da solução proposta.



FONTE: VPS Área Foco EEM (2019)


##### 3.1.1.1. IPAP

IPAP é o documento usado para identificar todos os “stakeholders” do projeto, ou seja, todas as áreas que serão afetadas pela solução a ser desenvolvida. Com isso, descrever a forma de envolvimento e o nível de responsabilidade de cada área afetada.

Através da matriz de IPAP fica possível identificar qual a interação de cada área com fatores predefinidos para garantir que o projeto esteja alinhado com as estratégias industriais para solicitação de investimentos afim de embasar o planejamento do projeto. Desta forma, para cada fator considerado, é apontado qual área é a responsável por garantir que tal fator será cumprido e quais áreas participarão como equipe de suporte para apoiar o cumprimento do requisito em questão e quais são as áreas que devem ser informadas e/ou consultadas.

Na FIGURA 47 abaixo, pode-se ver que para o projeto da automação da aplicação do selante do painel de instrumentos, a área de engenharia de produção (processo) juntamente com o gerente de projetos industriais (project manager) ficaram responsáveis pelas ações para assegurar a coesão com o plano estratégico para a solicitação de investimentos, tendo assim o suporte das demais áreas (qualidade da produção, manutenção, produção, TI, segurança do trabalho, etc)

FIGURA 42 – PROJETO DA AUTOMAÇÃO DA APLICAÇÃO DO SELANTE DO PAINEL DE INSTRUMENTOS.

EEM / Step1 Plan Industrial Change		OK NOK NA	<div>  <div> A Aprovador S Suporte I Informado C Consultado R Responsável </div> </div>												
IPAP		STATUS	PROJECT MANAGER	PROCESSO	QUALIDADE	MANUTENÇÃO PM	PRODUÇÃO AM	TECNOLOGIA/ IT	SEGURANÇA	VPO	MEIO AMBIENTE	LOGÍSTICA	CD	IPS	VGRE
INVESTMENT REQUEST	Considerar a flexibilidade atual e futura com relação a produtividade, variantes e capacidade.	OK	S	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
	Coletar os dados de produção (ex. comprovar a necessidade de substituição)	OK	S	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
	Redigir um descritivo inicial do projeto com necessidade do cliente e os pré requisitos	OK	S	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
	Solicitar a aprovação da descrição de projeto e o aceite pelo cliente	OK	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
	Estabelecer um Cronograma Básico para o projeto	OK	R	S	I	I	I	I	I	I	I	I	I		
	Estabelecer metas de investimento e/ou custo do produto	OK	R	S	I	I	I	I	I	I	I	I	I		
	Assegurar recursos para o próximo Step via Comitê Operacional	OK	R	S	I	I	I	I	I	I	I	I	I		
	Investigar o potencial de negócio com a ideia sugerida	OK	S	R	C	C	C	C	C	C	C	C	C		
	Assegurar alinhamento do projeto com o Business Plan	OK	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
	Considerar o impacto Local e Global com o projeto	OK	R	S	I	I	I	I	I	I	I	I	I		
	Identificar os riscos do projeto	OK	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
% DE ENTREGA PELOS STAKEHOLDERS			PROJECT MANAGER	PROCESSO	QUALIDADE	MANUTENÇÃO PM	PRODUÇÃO AM	TECNOLOGIA/ IT	SEGURANÇA	VPO	MEIO AMBIENTE	LOGÍSTICA	CD	IPS	VGRE
			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		RESPONSÁVEL: RUA DOR DA TAREFA QUE DEVE ENTREGAR-LA NO PRAZO ESTIPULADO PODENDO SOLICITAR SUPORTE ÀS OUTRAS ÁREAS DIRETAMENTE APROVADOR: APROVA A TAREFA PARA QUE SEJA DADO CONTINUIDADE ÀS TAREFAS CONECTADAS SUPPORT: EXECUTA SUA PARTE DA TAREFA INDEPENDENTE DA COORDENAÇÃO DO EXECUTOR INFORMADO: RECEBE INFORMAÇÃO PERTINENTE SOBRE A TAREFA EM EXECUÇÃO CONSULTADO: FORNECE INFORMAÇÃO PERTINENTE PARA CONTINUIDADE DA TAREFA PELO EXECUTANTE OU SUPORTE PM-PROJ. MGR. COORDENA A TAREFA CONTROLANDO O CRONOGRAMA, RECURSOS FINANCEIROS, PARTICIPAÇÃO, ETC.													

FONTE: dos Autores

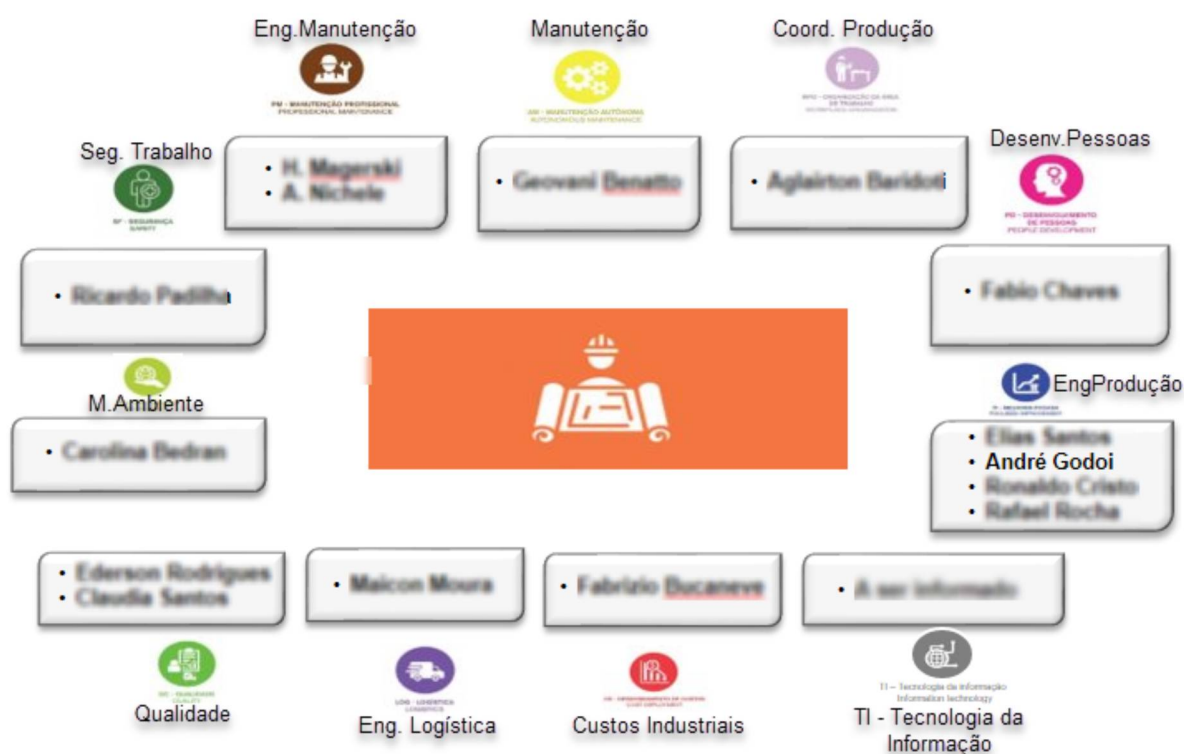
### 3.1.1.2. Recursos e Plano Básico

Após identificar as áreas afetadas e qual o papel de cada área no projeto em questão, cada área indicou pessoas representantes para participação ativa no projeto. Sendo assim os porta-vozes para trazer informações e compartilhar com suas respectivas áreas sobre o andamento do projeto e seus prováveis impactos. Todo o trabalho deve ser conduzido de maneira multidisciplinar afim de agregar diferentes especialidades e profissionais com diferentes perspectivas afim de que o projeto seja analisado da forma mais ampla possível para identificar e mitigar os riscos ao máximo. Conforme pode-se observar na FIGURA 48 abaixo, o conceito do EEM escolhido pela



empresa como metodologia para este tipo de projeto já pré determina, baseado na complexidade do projeto, indicando quais áreas devem fornecer seus representantes no projeto.

FIGURA 43 – CONCEITO DO EEM ESCOLHIDO

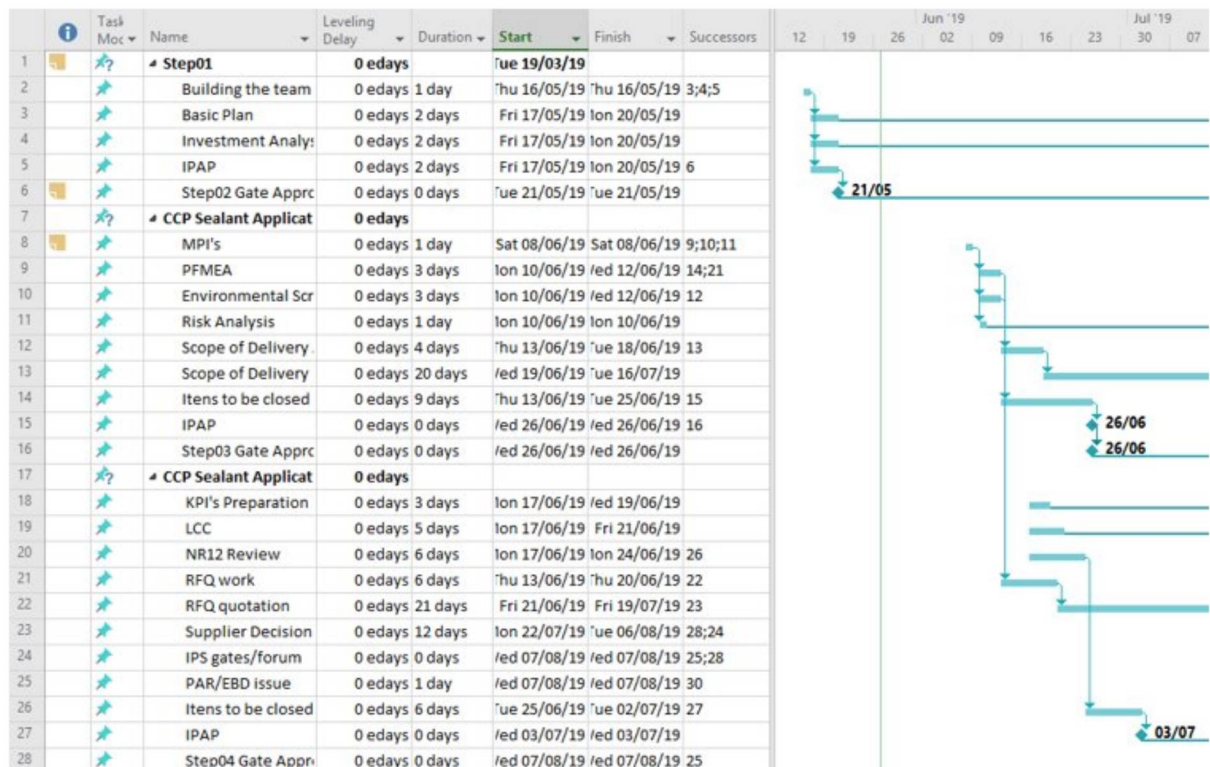


FONTE: dos Autores

Após identificar as responsabilidades e quem são os representantes de cada área da empresa, com base no conceito preliminar proposto, foi elaborado um cronograma básico inicial para estimar quanto tempo duraria e quando o projeto seria instalado e concluído (durante o projeto este cronograma passa por várias revisões).

Considerando o início do projeto em 19/03/2019 e todas as etapas até sua finalização, foi estimado que a instalação deveria acontecer durante as férias coletivas fornecidas pela empresa entre final de 2019 e início de 2020. Isto se deve também por conta da interação com outros projetos industriais da empresa que concorrem com a gestão de recursos e prazos para acontecer, fazendo com que para que tudo se encaixe de forma adequada os prazos podem ser flexibilizados. Assim, na FIGURA 49 abaixo, é possível observar o cronograma preliminar básico do projeto de automação da aplicação de selante do painel de instrumentos dos veículos pesados indicando como objetivo a instalação na semana W1952 (semana 52 do ano 2019).

FIGURA 44 – CRONOGRAMA PRELIMINAR BÁSICO DO PROJETO DE AUTIMAÇÃO



**Target: w1952 – Installation (CCP)**

P-Build - W2005 / SOP = W2111

FONTE: dos Autores

### 3.1.1.3. Aprovação do conceito básico

Toda a documentação desta etapa 01 do projeto foi elaborada considerando o conceito de automação da aplicação de selante dos veículos pesados com uso de robótica colaborativa. O conceito proposto com uso de robô colaborativo foi descrito de maneira a demonstrar a oportunidade de usar uma tecnologia recente da Indústria 4.0 para atender demandas de automação numa área em que uma célula robotizada convencional causaria impactos significativos no layout do espaço disponível. Além disso, a proposta considerou a oportunidade de usar este projeto para alavancar a capacitação dos profissionais da empresa em trabalhar com robô colaborativo.

Além de toda a documentação, foram identificados e apresentados para os gestores alguns fatores classificados como Demanda e Restrições afim de deixar claro para o fórum de aprovação dos gestores tudo o que está envolvido na proposta e para que assim possam tomar a decisão mais acertiva possível para aprovar ou sugerir revisão do projeto proposto.

Demandas:

- Exigência de GTO (Grupo de Operações de Caminhões) para usar o mesmo selante do processo do veículos tipo FH também no processo dos veículos FM (novo modelo);
- Automatizar com uso de célula de robô colaborativo para a aplicação do selante na cabine de forma a atualizar o processo atual para FH e adicionar um novo processo para FM.
- Disponibilidade para processo manual (backup).
- Interface com sistema MES para controle do equipamento via instruções enviadas diretamente para que a automação aplique o selante conforme o modelo do veículo que estiver na estação de montagem.
- Sistema de visão para verificação de qualidade da aplicação realizada pelo robô.

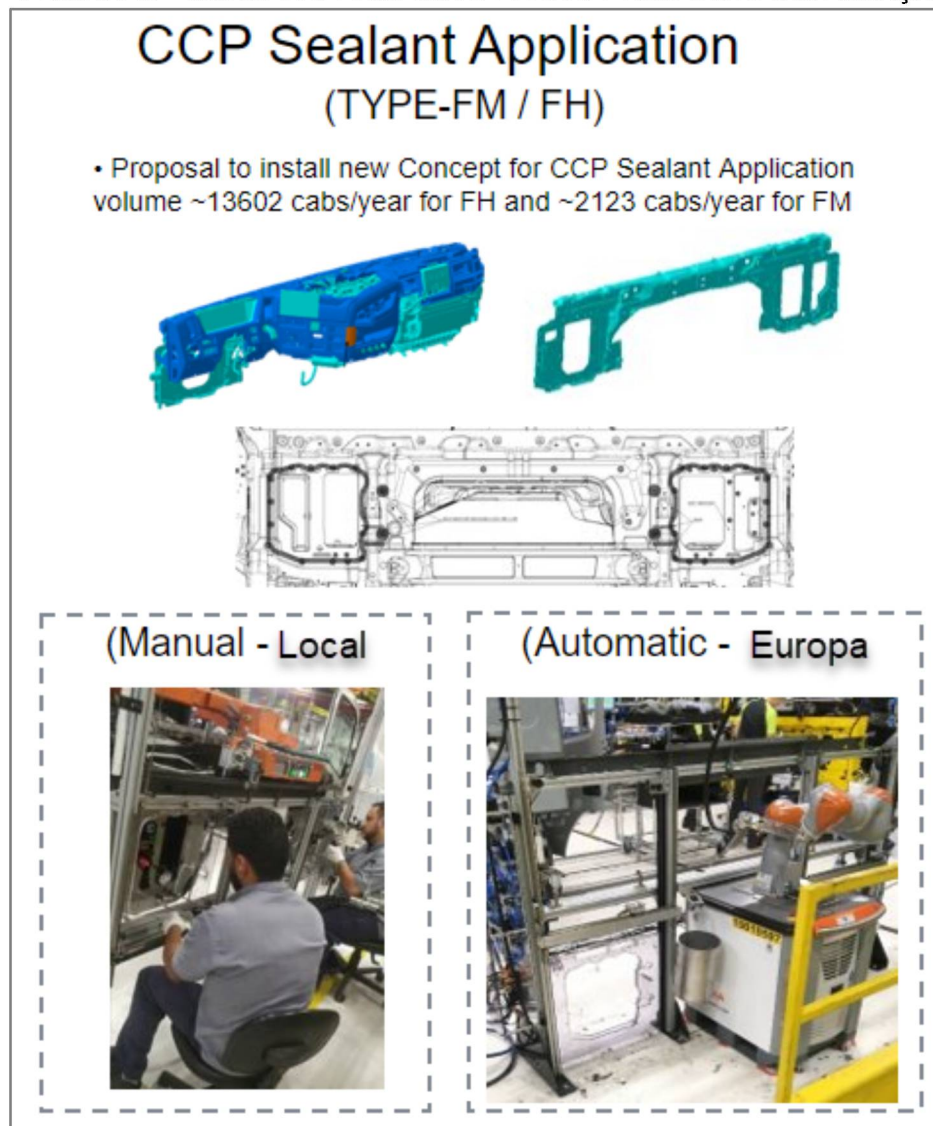
Restrições:

- Devido a complexidade da instalação, o equipamento deve ser instalado com a linha de produção parada para evitar distúrbios na produção, pois os equipamentos de bombeamento do selante da aplicação manual serão reutilizados na solução robotizada
- Deve-se manter as dimensões atuais do layout, comparativamente entre layout atual e futuro.

A FIGURA 50 abaixo, mostra a parte do material preparado para descrever ao grupo de gestores (gerentes e diretores) da empresa qual o conceito proposto, ou seja, que o processo de aplicação de selante do painel de instrumentos já estava sendo automatizado em nossa matriz na Europa e que estávamos aplicando o mesmo selante de forma manual em cerca de 16mil veículos por ano em nossa fábrica.



FIGURA 45 – CONCEITO PROPOSTO PARA O PROJETO DE AUTOMAÇÃO



FONTE: dos Autores

Foi demonstrado através de toda a documentação citada na etapa 01 deste EEM quais as propostas, quais os recursos e quais os planejamentos para que o conceito do projeto de automação com uso de robotica colaborativa fossse aprovado pelos gestores. A FIGURA 51 mostra que a simulação virtual buscou dar uma visibilidade do conceito proposto para explorar inclusive a possibilidade de homem e máquina interagindo em algum momento do processo sem o uso de barreiras de segurança. Isto para indicar a necessidade de se “quebrar” o paradigma de que robôs devem estar enclausurados, algo que muitas pessoas na ocasião ainda tinham bastante em mente. E foi o que se pôde comprovar através da decisão tomada, de que o projeto poderia seguir adiante, mas sem deixar de realizar um comparativo entre 03 diferentes formas de trabalho:

- I. Manter processo manual
- II. Automatizar com uso de robótica convencional
- III. Automatizar com uso de robótica colaborativa

FIGURA 46 – SIMULAÇÃO VIRTUAL



FONTE: dos Autores

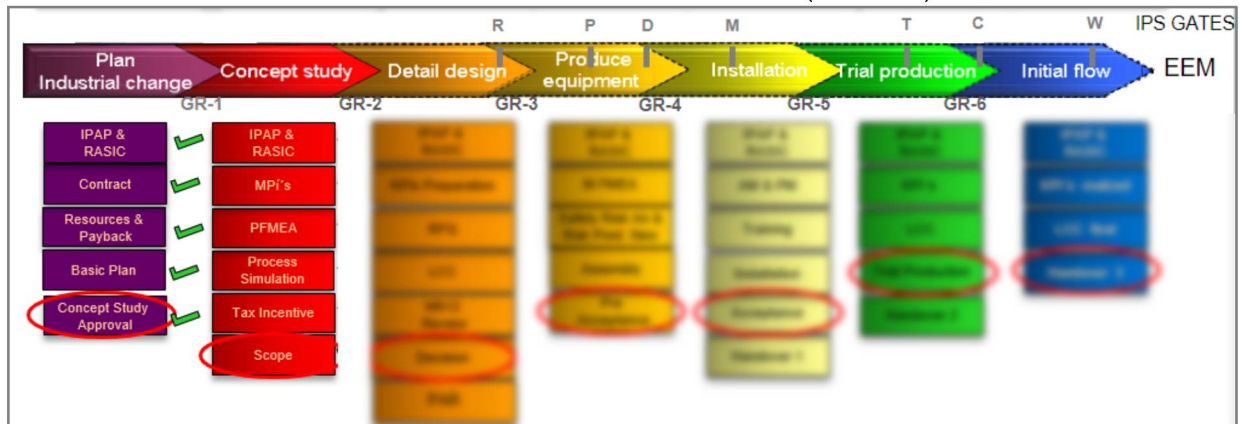
Com base nesta decisão dos gestores, nas fases seguintes, foram realizadas comparações entre estes cenários propostos para buscar identificar qual solução atenderia melhor as necessidades do projeto e da área de produção. Além disso, uma série de ações de conscientização sobre a tecnologia foram conduzidas para demonstrar como a robótica colaborativa estava de acordo com as normas e legislações vigentes, afim de passar para a empresa a segurança e capacitação necessárias em caso de investir neste tipo de tecnologia.

### 3.1.2. STEP 02 – Estudo do Conceito

Com a aprovação dos gestores ao final da etapa 01 para que seja realizada a investigação de 03 diferentes cenários, deu-se início a etapa 02 do projeto. Entitulada “Estudo do Conceito” do projeto, nesta fase são definidos os Requisitos do Projeto (MPI's) e também é realizada a análise do FMEA do processo para entender quais os riscos para o processo produtivo e quais soluções o projeto deve buscar para mitigar tais riscos, assim como demonstrado na FIGURA 52 abaixo.

Com base nestes dois documentos (MPI's e PFMEA), foram realizadas investigações para documentar e embasar quais os potenciais ganhos ao se investir em automatizar o processo de aplicação de selante do painel de instrumentos dos veículos pesados.

FIGURA 47 – ESTUDO DO CONCEITO (ETAPA 2)



FONTE: VPS Área Foco EEM (2019)

### 3.1.2.1. Requisitos do Projeto (MPIInfo)

Com participação dos representantes de todas as áreas envolvidas, com algumas rodadas de discussões, foram elaborados os requisitos do projeto. Como pode ver na FIGURA 53 abaixo, os MPI's indicaram requisitos técnicos de engenharia, demandas de manutenção, cuidados ambientais, obrigações legais, necessidades de capacitações e preocupações com segurança do trabalho.

FIGURA 48 – REQUISITOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA (MPI's)

Volvo Production System - Early Equipment Management (EEM) - MPI's				
Lista de remarcas áreas (MPI's): Concept 01 - System				
Remarcas	Área	CCP Sealant Applicat	Data input	
1 Manter o espaço físico atual na célula de aplicação de Selante.	Eng. Produção	X	08/05/2019	
2 Investigar sistema de visão - Sensores para identificar o perfil da aplicação do selante/solda (qualidade)	Eng. Produção	X	08/05/2019	
3 Investigar um sistema de controle de qualidade na troca dos tambores (evitar falhas / Purga / Etc.)	Eng. Produção	X	08/05/2019	
4 Sistema de aplicação do selante (SCA) deve ser adaptado para o Robô colaborativo com o uso dos mesmos equipamentos atuais	Eng. Produção	X	08/05/2019	
5 Verificar necessidade de sistema de aquecimento para os tambores/Mangueiras de aplicação de selante (devido a velocidade de aplicação do Robô para manter fluxo de selante estável)	Eng. Produção	X	08/05/2019	
6 Todos os produtos químicos que vierem com o processo, devem estar de acordo com os requisitos Volvo Meio Ambiente, Saúde e Segurança. ( Verificar os componentes do Robô Colaborativo)	Eng. Ambiental	X	08/05/2019	
7 Ruído max de 75dBA.	Eng. Ambiental	X	08/05/2019	
8 Monitoramento do consumo de energia/ar comprimido do equipamento	Eng. Ambiental	X	08/05/2019	
9 Fornecedor deve fornecer apreciação de riscos NR12 + ART	NR12 - Segurança	X	08/05/2019	
10 Definir Requisitos internos (volvo) da NR12 que devem estar contemplados no equipamento. (conforme itens 21 e 22)	NR12 - Segurança	X	08/05/2019	
11 Boa acessibilidade para a manutenção.	Eng. Produção	X	08/05/2019	
12 Sistema de indexação "rápido" com grampos Pneumáticos	Eng. Produção	X	08/05/2019	
13 Investigar históricos para definição do MTTR/MTBF/OEE	Manutenção	X	08/05/2019	
14 Treinamento do fornecedor para manutenção/programação do robô	Manutenção	X	08/05/2019	
15 Lista de Spare Parts e Consumíveis	Manutenção	X	08/05/2019	
16 Considerar sistema Manual para back-up	Eng. Produção	X	08/05/2019	
17 Interface com os Sistema VdB Mont (ler a sequência de linha e reportar problema de aplicação).	Eng. Produção	X	08/05/2019	
18 Controlador de Solda deve monitorar a aplicação	Eng. Produção	X	08/05/2019	
19 A aplicação da solda ultrassônica não pode gerar ruídos ou vibrações	Segurança		08/05/2019	
20 A aplicação da solda ultrassônica não deve gerar fumos plásticos	Segurança		08/05/2019	
21 Equipamento (robô) deve estar certificado / homologado de acordo com as normas vigentes para aplicações colaborativas, a saber, Norma Internacional ISO/TS15066 e Norma brasileira ISO10218-1/2	NR12 - Segurança	X	08/05/2019	
22 Solução projetada deve atender requisitos da Nota Técnica 31(NT31) aplicados a robôs colaborativos e aplicações colaborativas para garantir o correto atendimento dos requisitos da Norma Regulamentadora NR12	NR12 - Segurança	X	08/05/2019	
23 Tempo de processo deve ser reduzido, se comparado com situação atual. (valor de referência é Ghent) - (0X min)	Eng. Produção	X	08/05/2019	
24 Definir procedimento de limpeza do bico aplicador de selante, de preferência de modo automático	Eng. Produção	X	08/05/2019	
25 Definir procedimentos de manutenção e operação para ponteira de solda ultra-sonica (de preferência de modo automático)	Manutenção		08/05/2019	
26 Projeto local deve ser o mais similar possível ao projeto sueco (desenhos e imagens serão fornecidos)	Eng. Produção	X		
27 Projeto local deve ser o mais similar possível ao projeto sueco - Berços de apoio da grade (desenhos e imagens serão fornecidos)	Eng. Produção			

FONTE: dos Autores

Estes requisitos foram descritos para que sirvam de base em tomadas de decisões, para verificar o aceite das soluções e para elaborar as melhores propostas de cenários de forma que cumpram ao máximo com tais requisitos.

#### 3.1.2.2. *P-FMEA*

O procedimento de PFMEA, já amplamente conhecido na indústria, foi realizado de maneira a identificar em cada etapa do processo produtivo em análise, quais são seus modos de falhas, quais suas causas raízes das suas falhas e quais os efeitos dessas falhas na operação. A partir desta identificação, foi realizada a classificação de cada falha dentro dos critérios de “Probabilidade de Ocorrência”, “Severidade do Efeito” e “Possibilidade de Detecção da Falha” e com base nos resultados dessa classificação são apontadas as prioridades para recomendar ações de mitigação de riscos para cada falha.

Na segunda etapa, após conhecidas as prioridades, com base nos conceitos de automação pretendidos, foram inseridas “Recomendações de Ações” para mitigar as possibilidades de ocorrência das falhas. Em alguns casos, decisões foram tomadas para direcionar o escopo de atuação para tais causas. E foram definidos responsáveis para tratar dentro do projeto de assegurar que as causas de falhas fossem tratadas.

Por último, com base nas recomendações e decisões tomadas para tratativas das causas, foi realizada uma nova classificação das causas em relação a Ocorrência, Detecção e Severidade com intuito de estimar qual o efeito das ações recomendadas com a automação do processo poderiam trazer de benefícios na redução das possíveis falhas de processo.

A FIGURA 54 abaixo demonstra o formulário usado para esta atividade contendo as informações apontadas para cada possível falha apontada pelo grupo de trabalho no projeto. O resumo desta avaliação PFMEA deve ser apresentado como base de informação para indicar como o projeto de automação da aplicação de selante do painel de instrumentos contribui para a melhoria dos resultados da produção.



FIGURA 49 – FORMULÁRIO DE POSSÍVEIS FALHAS NO PROCESSO

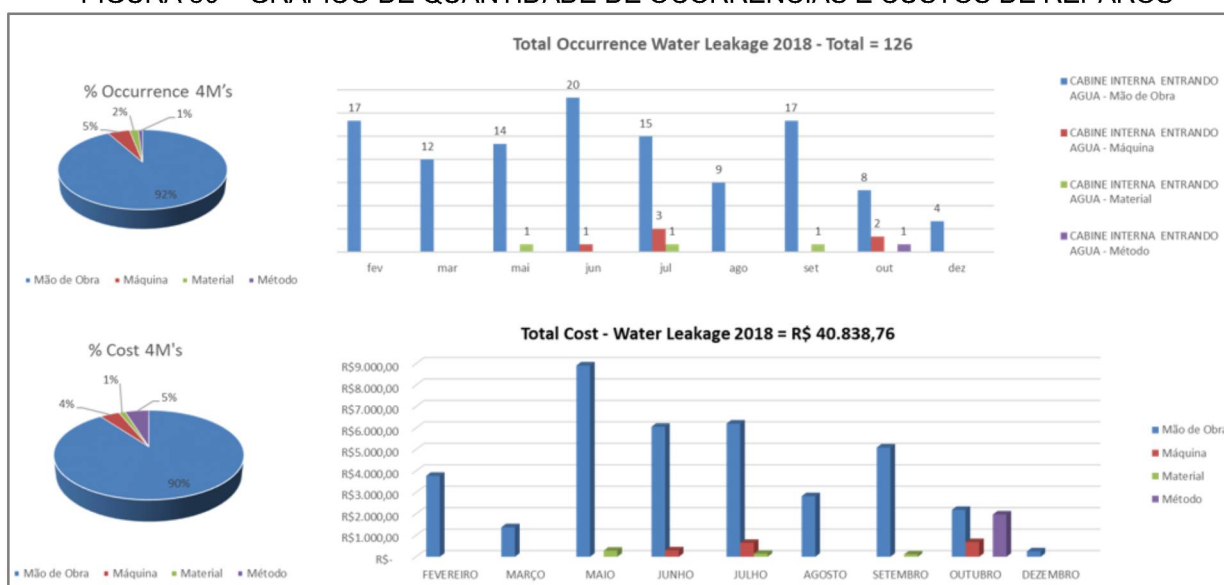
[illegible]

FONTE: dos Autores

### 3.1.2.3. Histórico da qualidade do processo manual

Foram realizadas investigações das ocorrências de defeitos ocasionados devido a aplicação manual de selante nos veículos FH. Com informações da área de qualidade e ajuste da produção foram identificadas as quantidades de ocorrências e os custos de reparos ocasionados para solucionar os problemas, assim como demonstrado na FIGURA 55 abaixo.

FIGURA 50 – GRÁFICO DE QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS E CUSTOS DE REPAROS



FONTE: dos Autores

Este levantamento foi realizado tendo em conta o cenário onde apenas os veículos FH (cerca de 70% do volume de produção) passam pelo processo de aplicação de selante, porém com o projeto de alteração de produto os veículos FM passarão a ter tal aplicação, fazendo com que 100% dos veículos estejam sujeitos a tal taxa de falha operacional que causa retrabalhos e custos.

### 3.1.2.4. Análise ergonômica do processo manual

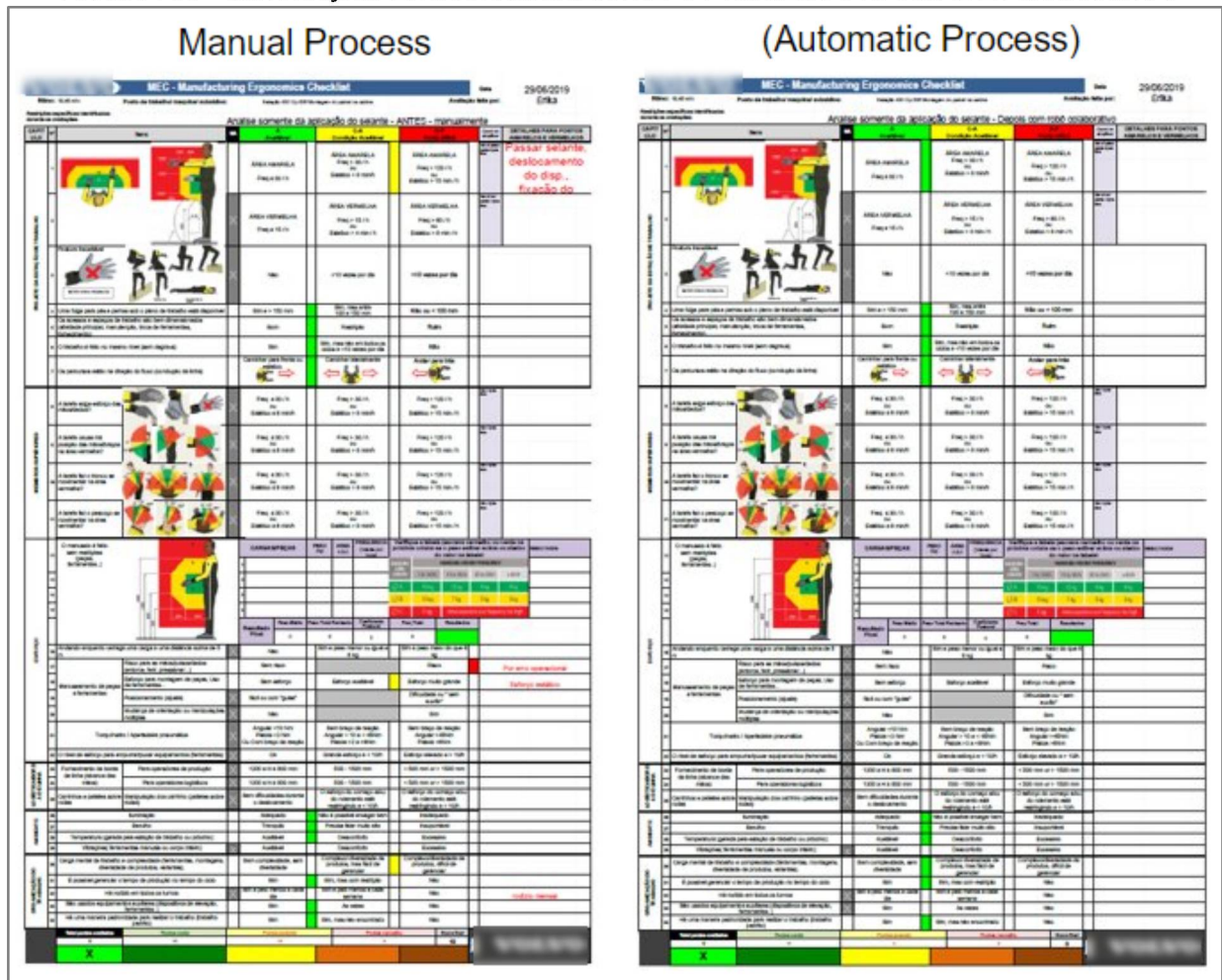
A análise ergonômica foi realizada com a intenção de demonstrar qual o impacto da automação na ergonomia dos operadores. Para tal análise, a equipe de Saúde e Segurança no Trabalho (ergonomistas) juntamente com a Engenharia de Produção foram até o posto e avaliaram os movimentos, atividades e ritmo dos operadores para realizar a aplicação manual de selante. Depois, num segundo momento, com base no



conceito de automação que o projeto está investigando, foi realizada simulação ergonomica para medir a diferença entre o processo manual e automático.

Como pode-se verificar na FIGURA 56 abaixo, a análise foi feita apenas da atividade de aplicação de selante (tempo de 1,9min para cada um dos 2 operadores da estação).

FIGURA 51 – SIMULAÇÃO ERGONOMICA ENTRE O PROCESSO MANUAL E AUTOMÁTICO



FONTE: dos Autores

Com isso, é possível verificar no resultado em verde que a atividade, de forma isolada, não apresenta risco ergonômico mesmo contendo alguns itens em amarelo e um item em vermelho (ver “manual process” na imagem abaixo). A simulação considerando o processo automatizado apresentou redução de todos os pontos amarelos e/ou vermelho, fazendo com que a pontual final do resultado ergonomic saísse de 18 pontos para 0 (zero) conforme mostra na FIGURA 57 abaixo. Mostrando

que a automação traz benefícios se comparado com a avaliação realizada do processo manual.

FIGURA 52 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ERGONÔMICA

Total pontos avaliados	Pontos verde	Pontos amarelo	Pontos vermelho	Score final
0	10	15	3	18
X				

Total pontos avaliados	Pontos verde	Pontos amarelo	Pontos vermelho	Score final
0	11	0	0	0
X				

FONTE: dos Autores

A preocupação com a situação ergonômica é algo bastante defendido pela organização da empresa, o que faz com que toda melhoria neste sentido seja bastante valorizada no grau de importância. Por isso, esta avaliação e a demonstração dos ganhos foram apresentados para os gestores identificar a importância em se investir em automação para este processo.

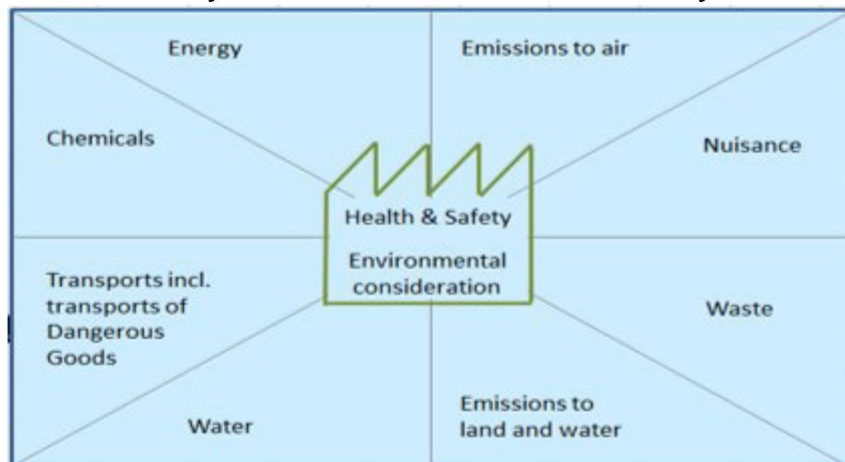
#### 3.1.2.5. Análise de riscos ambientais para conceito automatizado

Outro fator que faz parte da cultura da empresa é a preocupação em reduzir o impacto ambiental, então uma verificação dos possíveis impactos ambientais com tal automação foi realizada para buscar identificar quais as possíveis consequências de realizar a automação na aplicação de selante.

Para tal avaliação, segue-se orientações da área de Saúde, Segurança e Meio Ambiente com base em tópicos macros (ver FIGURA 58 abaixo) para analisar fatores como:

- Consumo e tipo de energia,
- emissões de gases para o ar,
- os produtos químicos usados,
- a forma de transporte de produtos perigosos,
- a tratativa com água,
- as emissões para água ou terra
- os descartes (físicos e líquidos)
- os incômodos ambientais

FIGURA 53 – ORIENTAÇÕES DA ÁREA DE SAÚDE, SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE



FONTE: Diretivas da Área de Saúde e Segurança do Trabalho (2019)

Utilizando formulário padrão mostrado na FIGURA 59 abaixo, e considerando o cenário de automação, foi realizada avaliação pela área de Meio Ambiente apontando quais itens podem sofrer impactos com tal projeto de automação.

Figura 54 – FORMULÁRIO PADRÃO

Risk and Opportunity	STATUS	Comments
1. Energy	↑	Electricity from Collaborative robot.
2. Chemicals (solid, liquid, gas)	↑	To be confirmed on RFQ answer by supplier (internal components).
3. Waste	⇒	No Impact.
4. Water Consumption	⇒	No impact.
5. Air Emissions	⇒	No impact.
6. Transportation and Dangerous Goods (DG)	⇒	No impact.
7. Land Disturbance	⇒	No impact.
8. Land and Water Emissions	⇒	No impact.
9. Nuisance	↑	To be confirmed on RFQ answer by supplier.
10. Environmental Considerations	↑	Items 10.2, 10.3, 10.4 and 10.8.

⇒ No Impact    ↑ Increasing    ↓ Decreasing

FONTE: dos Autores

Apesar de apresentar 4 fatores em que o risco ambiental esteja aumentando se comparada ao processo manual, área ambiental não identificou riscos ambientais relevantes que alterasse o rumo do projeto como um todo. Tal resultado foi apresentado no fórum para os gestores terem tal informação em mente na tomada de decisão.

#### *3.1.2.6. Processo de Decisão Final do conceito do projeto*

Conforme recomendação do grupo gerencial no final da etapa 01, foram investigados 03 (três) diferentes cenários de solução para o processo de aplicação de selante no painel de instrumentos dos veículos pesados:

- Cenário 01: manter processo manual, mesmo com aumento do volume de produtos com tal processo;
- Cenário 02: automatizar o processo com robô convencional;
- Cenário 03: automatizar o processo com robô colaborativo (que havia sido apresentado como proposta de conceito de automatização na etapa 01 do projeto)

Assim, time do projeto realizou análises com auxílio de uma matriz de decisão para identificar quais cenários se destacam mais positiva ou negativamente de acordo com fatores relevantes para o processo que se pretende automatizar.

Para cada um dos tópicos principais foram estabelecidos pesos de importância com base no escopo geral do processo alvo de aplicação de selante do painel de instrumentos. A partir daí, foram apontados itens relacionados a cada tópico principal de maneira a detalhar os fatores a serem analisados. Para cada item foi inserida uma nota que varia de 1 a 5, conforme o nível de atendimento de cenário de solução quanto ao item avaliado.

Por se tratar de uma fase ainda de definição do conceito a ser aplicado, ainda não foram realizadas cotações “oficiais” com fornecedores, mas através de estimativas e informações coletadas de outras automações, foi possível estimar valores aproximados do que poderia ser os valores para cada cenário investigado. Isto se deu por conta de que para solicitar orçamentos é necessário emitir documento padrão para permitir concorrências entre fornecedores, o que faz parte da etapa 03 da metodologia EEM sendo aplicada neste projeto.

Na FIGURA 60 abaixo, têm-se o resumo do resultado da matriz de decisão comparando os 03 cenários investigados. Como pode-se observar, cada cenário



obteve valores finais que indicam o quanto atendem aos fatores investigados, sendo quanto maior a nota maior o atendimento. O cenário 01 (manter aplicação manual) obteve 328 pontos ficando em terceiro lugar, o cenário 02 (robótica convencional) mostrou resultados melhores do que o processo manual em qualidade, segurança e ergonomia e acabou ficando em segundo lugar com 353 pontos. Já o cenário 03 (robótica colaborativa) atingiu 435 pontos por demonstrar resultados melhores também em pacote de funcionalidades já alinhadas com a Indústria 4.0, pela entrega e instalação facilitada e pela recomendação de outras fabricas do grupo. Desta forma, o grupo de projeto recomendou aos gestores, com base na investigação de cenários realizada, que o conceito final aprovado deveria ser o uso de robótica colaborativa.

FIGURA 55 – RESUMO DO RESULTADO DA MATRIZ DE DECISÃO

### CCP Sealant Application



INDEX	Concepts	Bid Criterias	Weight (%)	Manual Solution	Solution with Conventional Robot	Solution with Collaborative Robot
Safety			20	3	5	5
Ergonomy			10	3	5	5
Environment			10	5	1	3
Quality			20	1	5	5
Delivery			10	5	2	4
Cost			20	4	2	3
Feature			10	3	3	5
			100	328	353	435

#### Criterias:

Commercial
Mixed
Technical

#### Scores:

1-bad

... to ...

5-very good

CCP Sealant Application		
Estimativa de custoManual	R\$	70.000,00
Estimativa de custo Colaborativo	R\$	560.000,00
Estimativa de custo Convencional	R\$	730.000,00

STD Time		
Saving	R\$	69.221,45

Total Cost Water Leakage		
2018	R\$	40.838,76

Benefit		
	R\$	110.060,21

BC =	Manual	=	
	Estimativa de custo Colaborativo	=	1,97
	Estimativa de custo Convencional	=	1,51

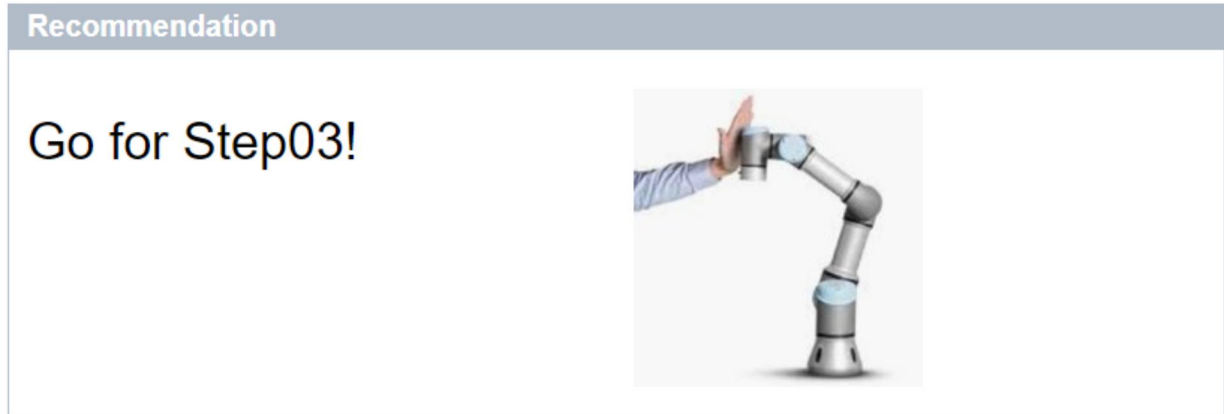
FONTE: dos Autores

Apesar dos valores mostrados na imagem acima fossem estimados, foi possível calcular a relação “Benefício / Custo” de cada cenário. E Também neste quesito o cenário do uso de robótica colaborativa se mostrou mais vantajoso, com B/C de 1,97

Desta forma, com a apresentação de toda a investigação realizada, o fórum de gestores aprovaram que o projeto fosse adiante para a Etapa 03, conforme mostra na FIGURA 61 abaixo. Entretanto, por se tratar de uma tecnologia nova para a empresa, toda a preocupação com conformidade legal em relação as normas técnicas e leis foi motivo de preocupação. E tal recomendação de avançar a etapa 03 veio acompanhada

de uma orientação para demonstrar que a solução esteja atendendo tudo que se refere a robotica colaborativa na NR12 e demais reegras gerais para uso de tal tecnologia.

FIGURA 56 – ETAPA 3

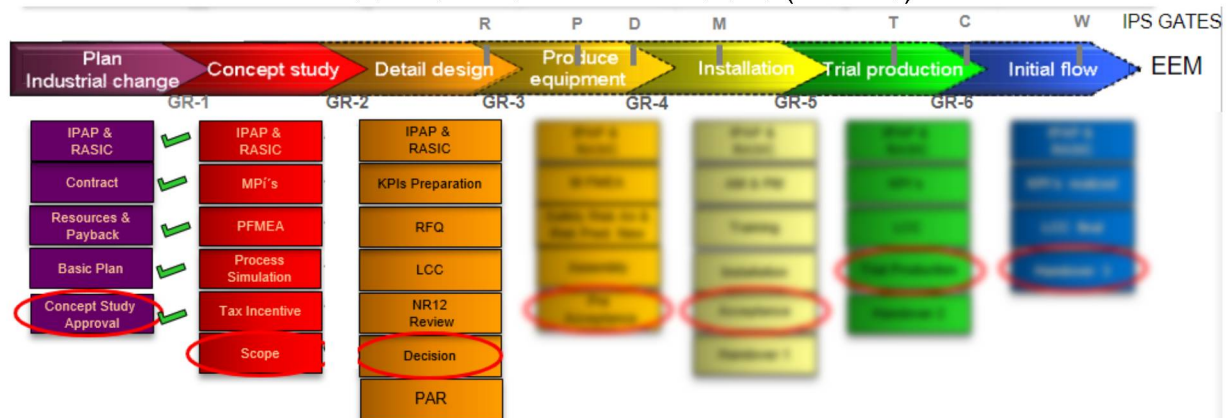


FONTE: dos Autores

### 3.1.3. STEP 03 – Detalhamento do escopo

Na etapa 03 é o momento de usar toda a documentação criada nas etapas precedentes para elaborar a solicitação de orçamentos - RFQ (Request For Quotations). Nesta fase também são preparados indicadores para que possam ser usados para validação posterior da entrega realizada no momento do fechamento do projeto. Como saída da etapa 03 espere-se a tomada de decisão da escolha do fornecedor para o desenvolvimento do projeto. (ver FIGURA 62 abaixo)

FIGURA 57 – TOMADA DE DECISÃO (ETAPA 3)



FONTE: VPS Área Foco EEM (2019)



### 3.1.3.1. Preparação de Indicadores

Com base em informações de equipamentos robóticos que pudessem ser comparados a solução proposta, buscou-se identificar indicadores que pudessem servir de referência para a aplicação de uma tecnologia que seria instalada pela primeira vez em nossa empresa.

Desta forma, a área de manutenção buscou o histórico de manutenções realizadas em duas células robóticas convencionais, então os valores considerados foram  $MTBF \geq 1280$  horas e  $MTTR \leq 12$  minutos. Também com base nos mesmos equipamentos de referência, ficou estabelecido também o indicador de OEE  $\geq 96,88\%$ , conforme mostra a FIGURA 63 abaixo.

FIGURA 58 – HISTÓRICO DE MANUTENÇÕES REALIZADAS EM CÉLULAS ROBÓTICAS CONVENCIONAIS

KPI	Equipment
MTBF	1280h
MTTR	12min.
Cycle Time	$\leq 9$ min.
OEE	96,88%
Quality	99,18%
Performance	97,92%
Availability	99,76%

FONTE: dos Autores

Estes indicadores passaram a ser considerados como objetivos mínimos a se atingir, para que após 1 ano de instalação possam ser validados com base nos dados reais do equipamento instalado. Isto por conta de que qualquer avaliação em período menor não poderá ser comparável aos indicadores estabelecidos. Mas servem como parâmetros para que fornecedores realizem as análises críticas necessárias para atingir tais números.

### 3.1.3.2. Solicitação de Orçamentos (RFQ)

Por se tratar de uma empresa multinacional, o processo de solicitação de investimentos passa por procedimentos padronizados com fóruns de decisão na sede da matriz localizada na Europa. Onde o projeto passa por controles e etapas de

aprovação de fazem com que a documentação para gerar as solicitações de orçamento devem ser feitas em formato padrão, conforme indicado na FIGURA 64 abaixo. Por motivos de confidencialidade exigidos pela empresa, a versão original do documento não pode ser divulgada.

FIGURA 59 – REQUISIÇÃO DE ORÇAMENTO

**Scope/RFQ**

☐ Type Name ☐ Type Name

- ☐ 0.0 Invitation Letter
- ☐ 1.0 Agreement
- ☐ A Cost Split-up
- ☐ B Time Schedule
- ☐ C General conditions
- ☐ D Minutes of Negotiation
- ☐ E Scope of Supply
- ☐ F Performance Technical Specifications
- ☐ G Standard Technical Specifications
- ☐ H Service and confidentiality agreement
- ☐ I Environment and CSR
- ☐ K Contractors Quotation
- ☐ Maintenance Engineering

**Table of Contents (Scope of supply):**

Section	Page
1 REGISTER	3
2 GENERAL SYSTEM DESCRIPTION	3
3 FLEXIBILITY	6
4 CAPACITY AND AVAILABILITY	6
4.1 General	6
4.2.1 Cycle time	6
4.2.2 Available working time	6
4.3 Availability	6
4.4 Backup run during down time	7
5 PRODUCT, EQUIPMENT AND PROCESS	7
5.1 Product drawings and requirements	7
5.2 Assembly process description	7
6 PURCHASER AND CONTRACTORS COMMITMENTS	8
6.1 Risk of production disturbance	9
6.2 Local requirements	9
6.3 Supervising authority	9
6.4 Coordinating of labour protection	9
6.5 Hot works	10
6.6 Project meetings and reviews	10
7 TIME SCHEDULE	10
8 ENGINEERING	10
8.1 Layout	10
8.2 Document registration	11
8.3 Machine P&ID	11
8.4 A-B&C approval analysis according NRE12	11
8.5 Maintenance requirements	11
8.6 Project meetings and reviews	12
9 GENERAL DEMANDS	12
9.1 Responsibility	12
9.2 Local conditions	13
9.3 Utilities	13
9.4 Sewage treatment	14
9.5 Design	14
9.6 Delivery equipment	14
9.7 Operation and maintenance	15
9.8 Installation & Commissioning	15
9.9 Tests for verification	16
9.10 Documentation	17
9.11 Spare parts and consumables	18
9.12 Transport	19

FONTE: dos Autores

No documento RFQ em anexo, foram descritos os fatores técnicos relevantes para permitir que os fornecedores interessados em participar da concorrência tenham informações suficientes para orçar propostas para atender os requisitos descritos. Porém, por se tratar de um projeto de introdução de uma tecnologia nova para a empresa, optou-se por realizar um “workshop” onde foram reunidos todos os fornecedores previamente selecionados, juntamente com a área de compras da empresa, num evento onde foram expostos para todos no mesmo momento quais eram os objetivos e regras para a concorrência.

A escolha dos fornecedores para participar da concorrência se deu por buscar os representantes das 4 marcas de robôs colaborativos que no entendimento da área de engenharia de produção da empresa estavam se destacando no ramo

automobilístico, assim foram escolhidos fornecedores das marcas ABB, Kuka, Onrom e Universal.

### *3.1.3.3. Requisitos Legais para conformidade com NR12*

Por se tratar de uma das principais preocupações dos gestores da empresa, buscou-se por informações das normas e legislações locais para demonstrar a conformidade da robótica colaborativa, afim de usar tais informações para auxiliar os gestores na tomada de decisão sobre qual tipo de automação poderiam optar como solução para o projeto.

Desde 2014, quando foi explorada a possibilidade de instalar robô colaborativo para a aplicação de selante do painel de instrumentos nos veículos FH, não estava claro para os gestores como a robótica colaborativa atenderia a legislação da NR12, que naquele momento era tema de adequações de todo o parque de equipamentos da empresa para atender aos requisitos da versão da Norma Regulamentadora nº 12 — Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos, que havia sofrido alteração da redação vigente pela Portaria n.º 197, de 17 de dezembro de 2010. ( aprovada por meio da Portaria 3.214/1978).

Esta versão da Norma NR12, com redação de dezembro de 2010, não fazia referências diretas às aplicações colaborativas, porém através da emissão da NOTA TÉCNICA Nº48 /2016/CGNOR/DSST/SIT/MTPS passou a abordar a correlação entre categoria de segurança e níveis de performance, conforme pode observar na ementa a seguir:

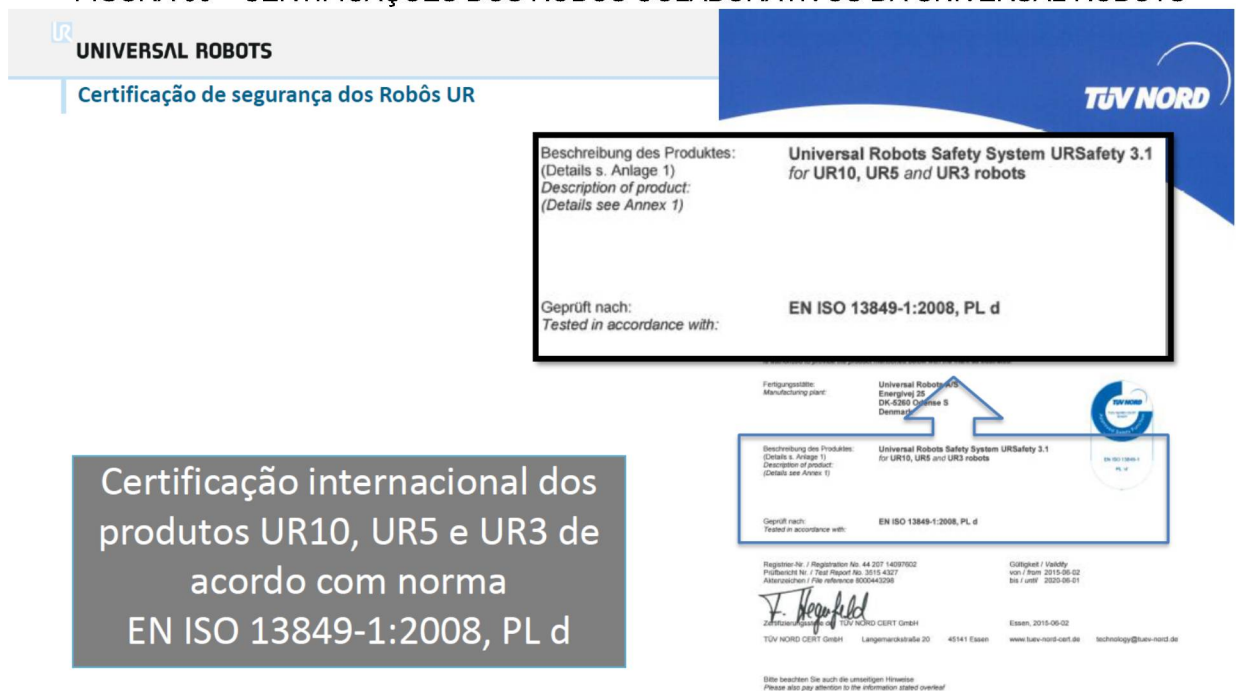
Ementa: Esclarecimentos quanto a exclusão do conceito de falha segura da Norma Regulamentadora nº 12 — Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos; quanto ao conceito de Estado da técnica; e quanto a importação de máquinas, especialmente no que tange a aplicação de normas internacionais e harmonizadas, abordando a correlação entre categoria de segurança e níveis de performance (Performance Level - PL). - Nota Técnica Nº 48, publicada em Brasília, 3 de março de 2016.

Esta mesma publicação da NT48 cita que a correlação entre categoria de segurança e níveis de performance foi incluída por “estarem ocorrendo interpretações equivocadas de que máquinas novas, fabricadas na Europa seguindo Normativas

internacionais (ISO ou IEC), ou ainda normativas EN tipo C harmonizadas, não estariam de acordo com a NR12.”(NT\_48).

Com base nesta publicação desta nota técnica Nº48, em 2016 já era possível afirmar com base nas certificações dos robôs colaborativos que os equipamentos estavam condizentes com a Norma Regulamentadora Nº12. Pois, assim como pode ver no exemplo da FIGURA 65 abaixo, as certificações TÜV para os robôs colaborativos da Universal Robots estavam de acordo com as normas européias de acordo com as normativas internacionais.

FIGURA 60 – CERTIFICAÇÕES DOS ROBÔS COLABORATIVOS DA UNIVERSAL ROBOTS



FONTE: Universal Robots do Brasil

Ficou claro para os gestores que o equipamento robô colaborativo estava de acordo com a NR12 (Norma Regulamentadora). Porém restava-se ainda dúvidas em relação a aplicação colaborativa, uma vez que naquele momento a NR12 não citava robôs, robótica ou qualquer aplicação robotizada. E nem mesmo havia regulamentação brasileira para aplicação de robôs colaborativos, restando assim como opção usar a ISO/TS 10218-1:2011 como referência de conformidade as normas internacionais.

Desta forma, afim de garantir tanto a documentação dos equipamento quanto das aplicações, seria imprescindível que, juntamente com a entrega da aplicação fosse emitido um laudo APR de Apreciação de Riscos, conforme previsto e mencionado na NR12, afim de assegurar que a aplicação (e uso) de robôs colaborativos esteja

adequada para a produção de forma segura para as pessoas envolvidas e de acordo com a legislação brasileira.

Com a documentação dos equipamentos e o laudo APR da aplicação, podia-se considerar que o uso de robôs colaborativos estava de acordo com a NR12. Porém, foi somente com a emissão da NOTA TÉCNICA N°31/2018/CGNORIDSST/SITIMTb publicada em Brasília, 19 de Fevereiro de 2018 que finalmente se regulamentou a aplicação colaborativa de forma clara e ampla, tendo por base duas normas internacionais que tratam do tema e auxiliam na aplicação da NR-12. (ISO 10218-1: "Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots"; e ISO 10218-2 "Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots – Robot systems and integration ") e uma Especificação Técnica (ISO/TS 15066: "Robots and robotic devices - collaborative robots ")

A nota técnica nº 31 cita em sua introdução que:

*A presente Nota Técnica visa a esclarecer requisitos técnicos necessários ao trabalho seguro com robôs industriais colaborativos (COBOTS) e robôs tradicionais em aplicações colaborativas, à luz da interpretação técnica da NR-12. – Nota Técnica N°31 publicada em Brasília, 19 de Fevereiro de 2018.*

Foi somente a partir da publicação desta Nota Técnica N°31 que as dúvidas dos gestores em relação a Norma Regulamentadora ficaram melhor esclarecidas. E com base neste esclarecimento, pôde-se assim avançar com as iniciativas de utilização de robótica colaborativa dentro do processo de montagem de caminhões na empresa.

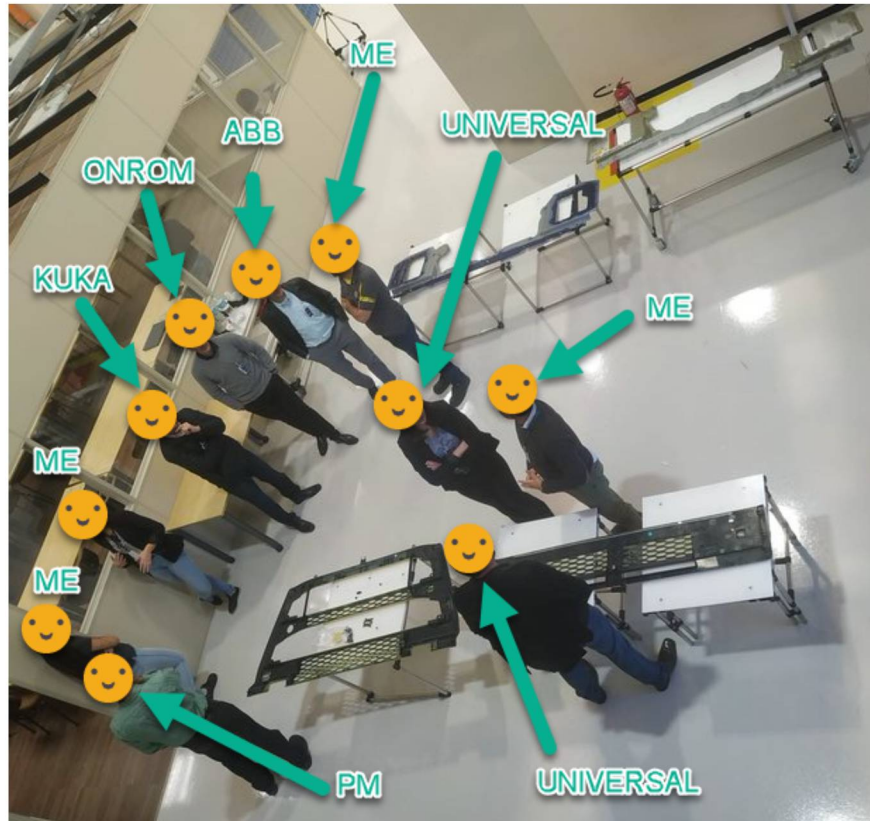
#### 3.1.3.4. *Decisão para escolha do fornecedor e processo de compras*

Com base na solicitação de orçamentos, citada no item 3.1.3.2 (RFQ) acima, foi realizado um workshop com 4 dos principais representantes de 4 das principais marcas de robôs colaborativos atuando no mercado local. A saber, foram chamados para participar da concorrência representantes das marcas: ABB, Universal Robots, Kuka e Onrom. A FIGURA 66 abaixo mostra o local do workshop onde foram expostas as peças envolvidas para os fornecedores e foi explicado o escopo para que todos tivessem o mesmo nível de informações para poderem realizar cotações e propostas para atender as necessidades do processo de aplicação de selante do painel de



instrumentos dos veículos pesados. (na figura entenda-se por: PM=Project Manager, ME=Manufacturing Engineer)

FIGURA 61 – LOCAL DO WORKSHOP



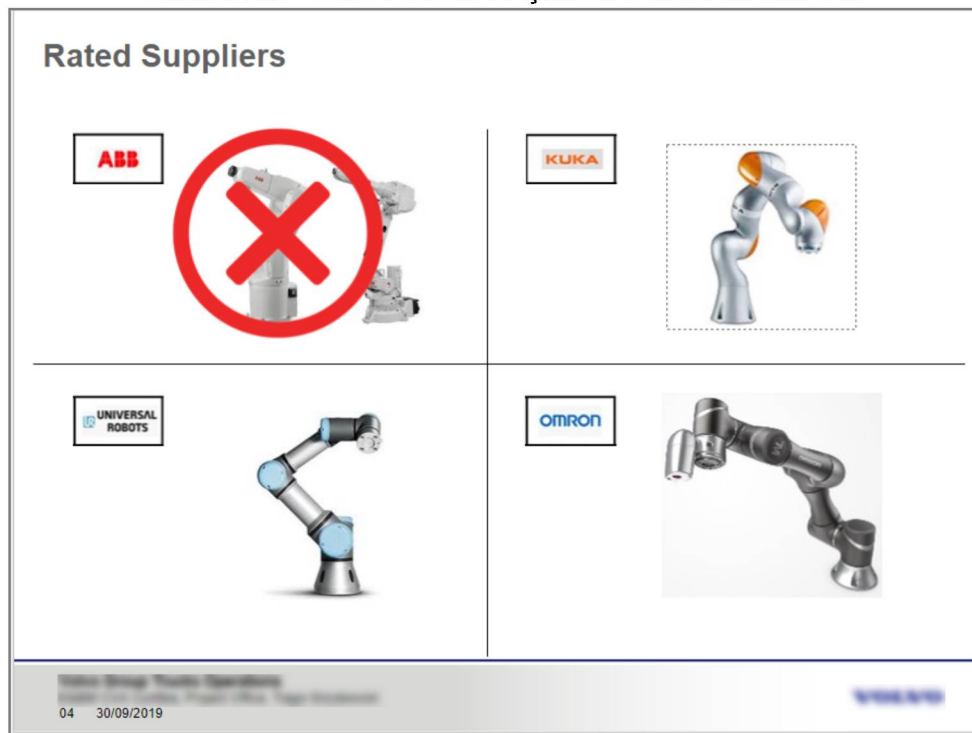
FONTE: dos Autores

O workshop foi conduzido pela Engenharia de Manufatura (ME), com participação do Gerente de Projetos (PM) e suporte do time de gestores da produção e apoio do setor de compras.

Foram recebidas cotações das 4 marcas de robôs, sendo que apenas uma das marcas não ofertou a solução colaborativa. Sendo assim, conforme mostra na FIGURA 67 abaixo, numa das etapas de seleção dos fornecedores a proposta vinda do fornecedor ABB ficou fora da concorrência por ofertar solução convencional não compatível com o escopo apresentado no workshop.



FIGURA 62 – ETAPA DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES



FONTE: dos Autores

A partir das análises de todas as cotações recebidas, incluindo a proposta da ABB, foi elaborada uma matriz de decisão similar a matriz usada para a escolha da solução técnica e mencionada no item 3.1.2.6 deste trabalho.

Em trabalho conjunto com áreas de Engenharia de Manufatura, Engenharia Industrial, Manutenção, Compras, Segurança do Trabalho e Escritório de Projetos, foram avaliados vários pontos das propostas afim de pontuar e classificar por peso os fatores mais relevantes para o processo de decisão de qual fornecedor a ser escolhido.

As FIGURAS 68 e 69 a seguir demonstram de maneira resumida o resultado geral técnico e comercial apresentado no fórum dos gestores da empresa com o objetivo de receber a recomendação da alta administração sobre qual fornecedor seria escolhido para contratação.





FIGURA 63 – RESULTADO DA MATRIX DE AVALIAÇÃO DE FORNECEDORES

Decision Matrix to Evaluate Suppliers					
		KUKA	ABB	UNIVERSAL ROBOTS	OMRON
Suppliers					
Bid Criterias					Comment
Safety	50	30	50	40	- Safety system - ART/NR12
Quality	25	27	25	35	- Vision System Solution - Sealant temperature control - Warranty - FMEA
Delivery	74	74	118	118	- Training - Virtual simulation - Spare parts offer / communication - Lead Time after PO - Attendance to SoP (support) - Logistics_Close to Volvo - Equipment Delivery to Volvo (Transport)
Cost	60	20	100	100	- Commercial (Cost - Perspective) - Only Start Cost (LCC to be further evaluated)
Feature	129	71	137	139	Robot   Robot payload   Robot reach   Ultra-sonic welding equipment   Tightening equipment   Screws automatic feeder for tightening machine   Sealant application equipment   Layout design   Manual solution for UW+T   Manual solution for Sealant   CLP   IHM   Assembly fixtures design for UW+T   Assembly fixtures design for sealant   Tool changer
	338	222	430	432	

05 30/09/2019

FONTE: dos Autores

FIGURA 64 – RESULTADO TÉCNICO E COMERCIAL

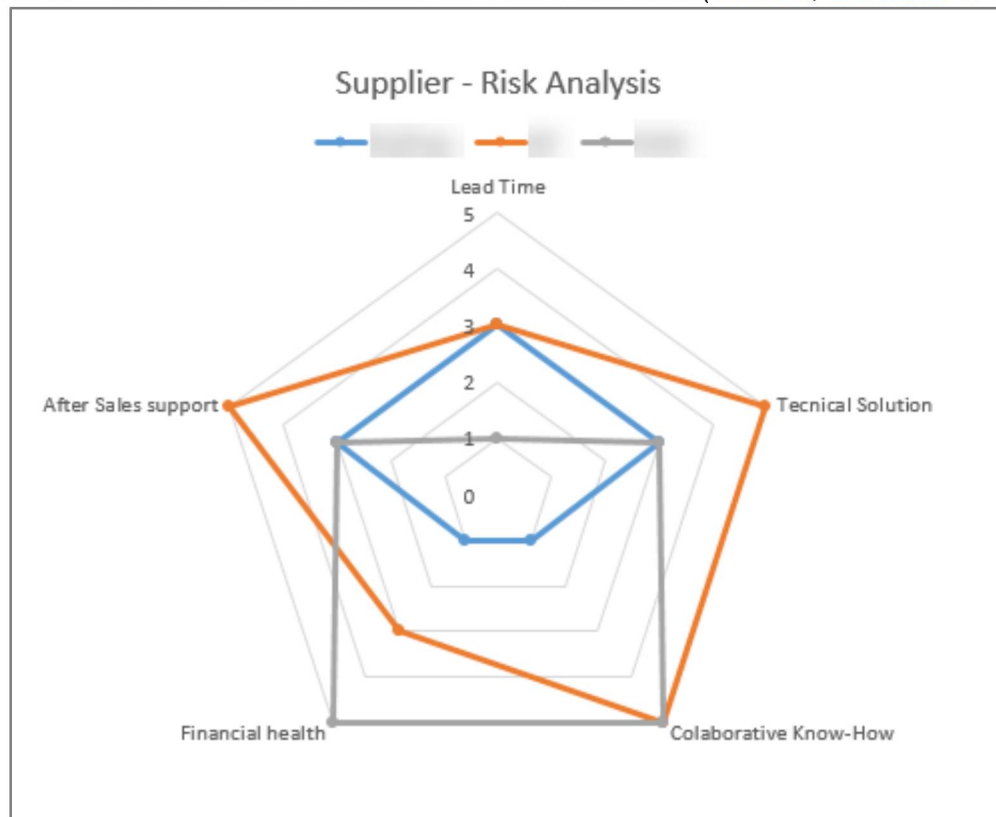
		Universal	(OMRON)	KUKA
				
	Robô	R\$	R\$	R\$ 275.528,72
	Serviços de eng.	R\$	R\$	
	Serviços de inst.	R\$	R\$	
	End-Effector	R\$	R\$	R\$ 807.528,58
	Itens automação	R\$	R\$	
	Itens mecânicos	R\$	R\$	
	Sistema de visão	R\$	R\$	R\$ 95.198,27
	Sistema de Cola	R\$	R\$	R\$ 877.825,58
TOTAL		R\$	R\$	R\$ 1.853.282,85

FONTE: dos Autores

Além com base nas comparativas técnicas e de valores comerciais ofertados, foi realizada uma comparativa em relação aos riscos que cada fornecedor poderia apresentar. Assim cada fornecedor foi pontuado em relação aos critérios de: atendimento de pós vendas, solução técnica proposta, demonstração de conhecimento na aplicação de robótica colaborativa e análise de saúde financeira. Estes critérios foram estabelecidos em parceria com todos os departamentos envolvidos para buscar perceber quais fornecedores teriam maiores condições tanto de implementar a solução

quanto se responsabilizar por eventuais contratempos ocasionados na sua entrega que causassem perdas de produção. A FIGURA 70 abaixo demonstra o gráfico comparativo entre os 03 representantes das marcas, sendo: em azul o representante da Onrom, em laranja o representante da Universal e em cinza o representante da Kuka.

FIGURA 65 – GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE AS MARCAS (ONROM, UNIVERSAL e KUKA)



FONTE: dos Autores

No geral, a recomendação do time de projeto apontava para que o fornecedor escolhido fosse o representante da Universal Robots, que através das análises e comparativos e pela opinião geral do time ser o fornecedor mais adequado. Entretanto, os gestores solicitaram maior investigação com o fornecedor Kuka, pois para a mesma aplicação foi escolhido colocar um robô colaborativo da Kuka em outra planta do grupo na Europa.

É tratativa comum buscar a padronização de soluções entre as fabricas do grupo, ainda mais quando produzindo os mesmos produtos. Portanto, o grupo de projeto realizou reuniões com representantes do time de projeto da Europa para entender o que os levou a escolher o fornecedor e além disso buscou entender o contexto de robótica colaborativa dentro do grupo globalmente. Nesta investigação observamos que ainda não existia uma recomendadção global para optar por este ou

aquele fornecedor, até mesmo porque foram encontradas diversas iniciativas com diferentes marcas de equipamentos, utilizando tanto Universal Robots quanto Kuka e Fanuc também.

Pelo fato das plantas da Europa terem optado pelo fornecedor da Kuka para o mesmo processo de aplicação de selante no painel de instrumentos, após algumas rodadas de investigação e aprofundamento do entendimento do projeto europeu, foi realizada uma comparativa entre o fornecedor recomendado localmente (Universal) e o fornecedor escolhido na Europa (Kuka).

Na FIGURA 71 abaixo demonstra o resultado da matriz após novas rodadas de negociação comercial e análises técnicas, comparando as propostas dos representantes tanto da Universal quanto da Kuka. Resultado reforçou que localmente a Universal se mostrou ser a melhor opção, mesmo que a solução final não fosse idêntica a solução optada pelas fabricas na Europa.

FIGURA 66 – RESULTADO DA MATRIZ APÓS NOVAS RODADAS DE NEGOCIAÇÃO


INDEX	Suppliers	Weight (%)	KUKA	Universal (SPI)
	Bid Criterias			
F	Robot	10	5	5
F	Robot payload	1	5	5
F	Robot reach	1	5	5
Q	Robot MTBF	3	5	3
D	Logistics_Close to Volvo	1	3	3
D	Equipment Delivery to Volvo (Transport)	1	5	5
C	Commercial (Cost - Perspective)	5	4	5
C	Commercial Negotiation	1	5	3
C	Financial Analysis	5	5	5
C	CSR - Corporate Social Responsibility'	5	5	5
		100	387	406

Criterias:

Commercial

Mixed

Technical



FONTE: dos Autores



Sendo assim, após nova rodada de apresentação da análise realizada para o grupo de gestores, e após alinhado nossa escolha local com comprador global de equipamentos, foi aprovada a decisão de que o representante da Universal Robots fosse escolhido como o fornecedor para automatização do processo de aplicação de selante do painel de instrumentos com robótica colaborativa.

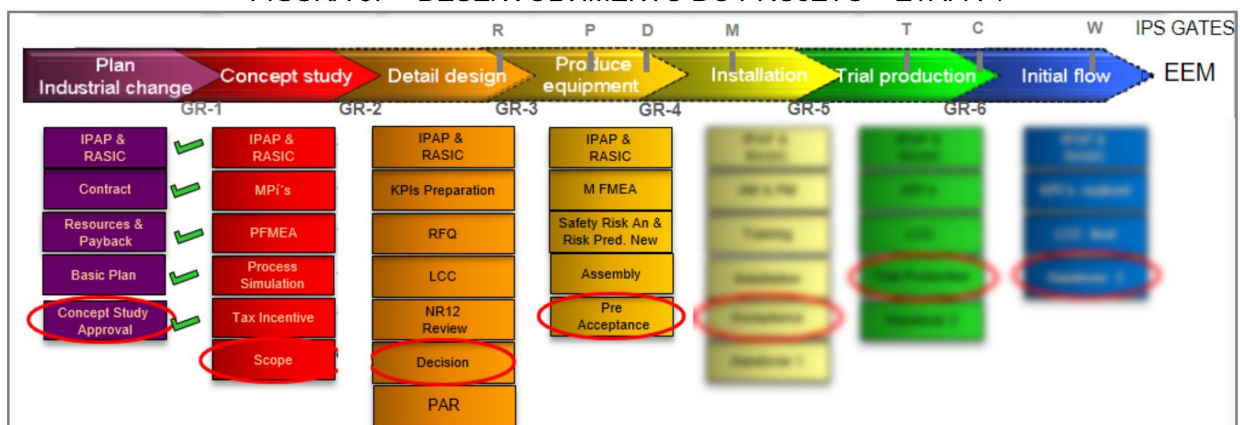
### 3.2. PROJETO INTERMEDIÁRIO (STEPS 04 ao 05)

O projeto intermediário compreende as etapas de desenvolvimentos, as revisões de design da solução a ser desenvolvidas, os alinhamentos de cronogramas, os planejamentos de atividades, as instalações e a operacionalização da solução na linha de produção. De acordo com a metodologia (EEM) aplicada pela empresa neste projeto, isto refere-se às etapas (steps) 04 e 05.

#### 3.2.1. STEP 04 - Desenvolvimento do equipment

Na etapa 04, demonstrada na FIGURA 72 abaixo, acontece o desenvolvimento do projeto com base em todo o material produzido nas etapas anteriores, desde sua análise de riscos e as possíveis mitigações descritas no P-FMEA, passando pelos projetos mecânico e elétrico até sua simulação para pré-aprovação do produto que será construído e instalado na linha de produção durante a etapa 05.

FIGURA 67 – DESENVOLVIMENTO DO PROJETO – ETAPA 4



FONTE: VPS Área Foco EEM (2019)

##### 3.2.1.1. Detalhamento do escopo e início do desenvolvimento

Através da apresentação e discussão entre empresa contratante e empresa contratada, tomando por base a análise de todo o material produzido nas etapas

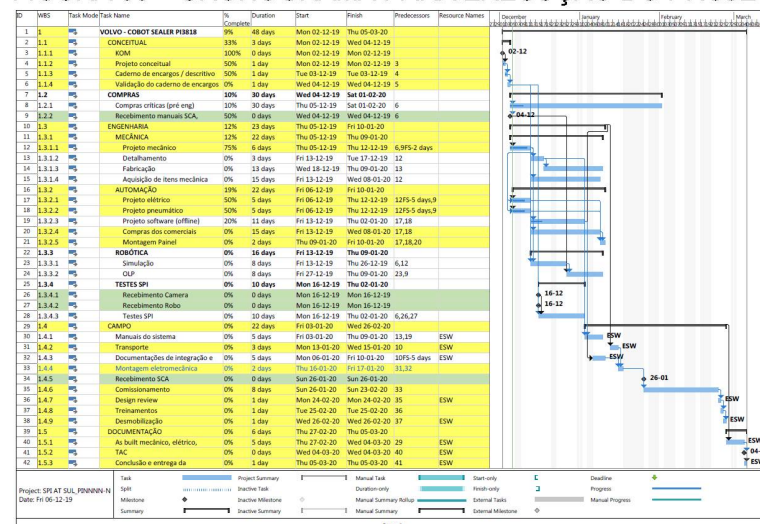
anteriores, uma série de rodadas de reuniões se procedeu afim de detalhar quais seriam as mitigações de riscos para o processo (P-FMEA) e assim poder desenvolver as soluções propostas.

Desta forma foi possível encontrar soluções para se adequar ao escopo de tal maneira a otimizar a qualidade da entrega sem onerar os custos previamente estipulados. Ficou assim definido como parte escopo final que:

- Projeto compreenderia a alteração do dispositivo de aplicação de selante manual, e não a fabricação de um completamente novo;
- Instalação de sistema de visão integrado ao robô para leitura dinâmica dos resultados da aplicação de cola, e não câmeras estacionárias;
- Alterações e integração do sistema de cola seria comprado em separado pela empresa contratante, porém a coordenação da execução do serviço seria coordenada pela empresa contratada;
- Empresa contratante se responsabiliza por dar suporte e atuar para que a integração com sistemas de controle da produção não compromettesse cronograma das atividades da contratada, ou seja, testes e ajustes do software ficam a cargo da contratante, com suporte do time de IT da matriz, para que sistema seja integrado ao equipamento e possa comandar atividades do robô.

Com base na revisão de escopo e aprofundamento da solução, um cronograma foi estipulado para a execução do projeto, conforme demonstrado na FIGURA 73 abaixo.

FIGURA 68 – CRONOGRAMA PARA EXECUÇÃO DO PROJETO



FONTE: dos Autores



### 3.2.1.2. *Desenvolvimento do projeto e revisões*

Processo de desenvolvimento envolvendo projeto mecânico, elétrico e fluxograma de informações para projeto de software passou por eventos chamados de “design reviews” onde a empresa contratada apresentou todo o desenvolvimento sendo realizado em etapas importantes, e previamente combinadas entre as partes, afim de receber uma pré-aprovação do projeto por parte da contratante, de forma a minimizar riscos de entregar algo que estivesse fora da expectativa e do padrão de entrega esperada pela empresa contratante.

Em meio a várias reuniões para sanar dúvidas e alinhar expectativas e entendimentos, ficou agendado que seria realizado 02 eventos de “design reviews”, agendados para 16/12/2019 e 13/01/2020.

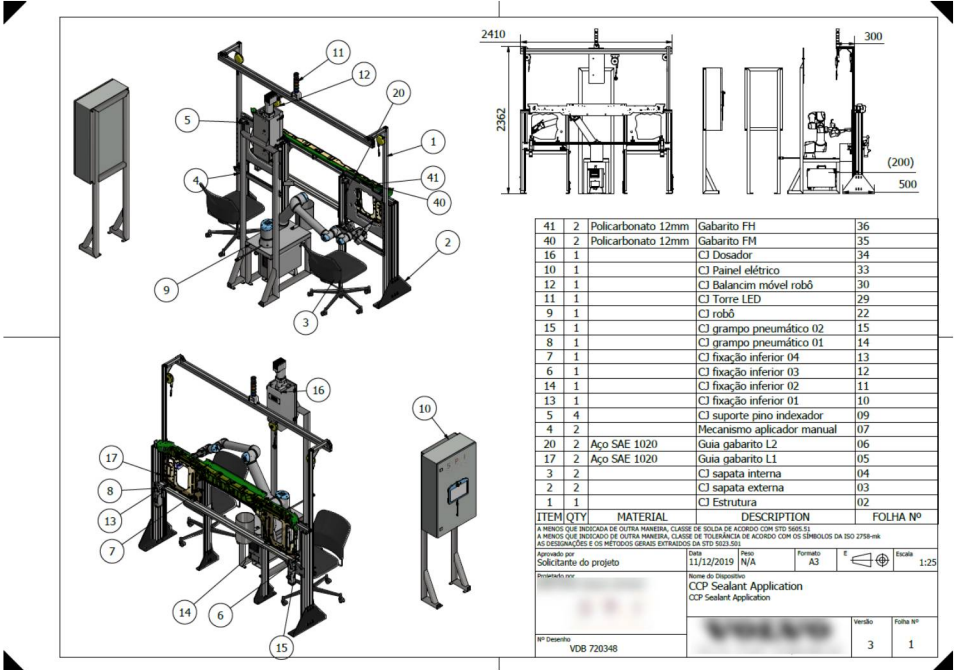
#### 3.2.1.2.1. *Design Review 01*

Reunião com todas as áreas envolvidas no projeto, desde representantes da produção, manutentores, engenharia de produção e segurança do trabalho. Empresa contratada apresentou os projetos mecânicos, elétricos e revisou fluxograma de informações para definição da forma de trabalho do equipamento automatizado.

O Fluxograma de informações desenvolvido pelo fornecedor com base nas informações coletadas teve por objetivo introduzir a discussão da forma de trabalho a ser executado na célula e qual nível de interação Robô, operador e sistemas de controle iriam interagir. Documento simplificado e com intuito de alinhar entendimentos para definir limites da forma de trabalho foi editado durante a revisão do desenvolvimento.

Projeto mecânico apresentado com bom nível de detalhamento, tendo por base o equipamentos já instalados na célula, realizando alterações de acordo com o escopo e inserindo o robô colaborativo na estação, conforme demonstrado na FIGURA 74 abaixo. (Obs: por motivos de regras globais da companhia, não é permitido anexar projeto mecânico completo detalhado mesmo que em suas versões preliminares)

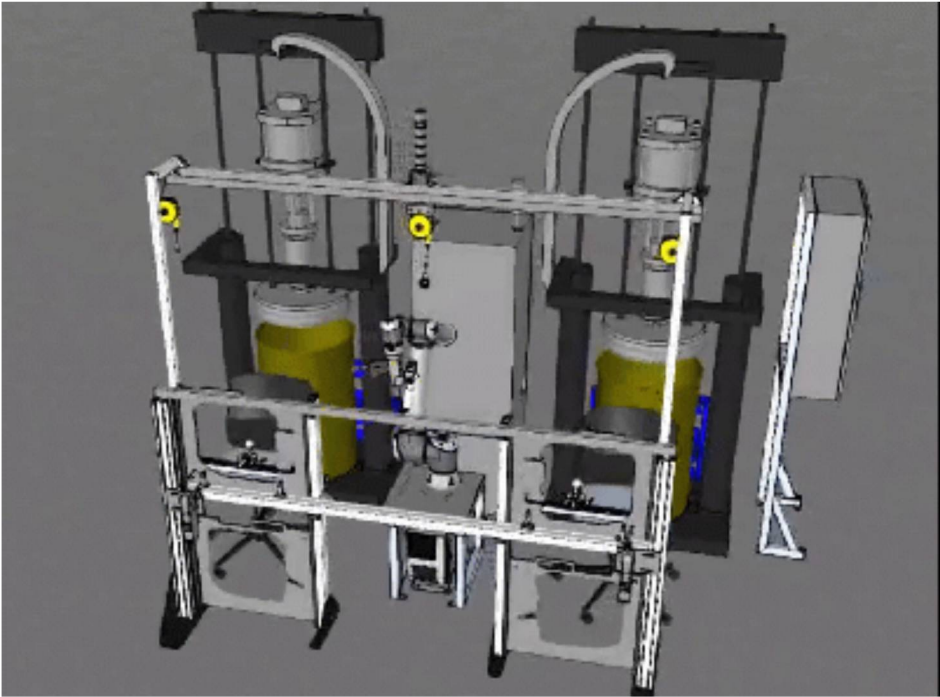
FIGURA 69 – ESCOPO DO ROBÔ COLABORATIVO



FONTE: dos Autores

Projeto foi apresentando em detalhes, tanto em formato 2D (pdf) quanto em 3D(stp). Além disso, uma simulação preliminar foi incluída na apresentação para demonstrar a capacidade do robô de alcançar as extremidades do equipamento com o posicionamento estipulado no projeto mecânico. (conforme demonstrado na imagem animada da FIGURA 75 abaixo)

FIGURA 70 – SIMULAÇÃO DA CAPACIDADE DO ROBÔ COLABORATIVO



FONTE: dos Autores

Revisão do projeto mecânico demonstrou que desenvolvimento em geral do projeto estava de acordo com a maioria das expectativas, entretanto foram feitas observações em relação aos dispositivos de posicionamento do painel de instrumentos, sobre o sistema de visão, sobre o posicionamento do robô, sobre os equipamentos de cola que ficaram de fora da apresentação e sobre o posicionamento do controlador do robô.

Projeto elétrico não foi apresentado em detalhes, apenas foi discutido sobre os materiais escolhidos de acordo com os padrões estipulados no caderno de encargos. Isto se deu por conta das alterações solicitadas através do projeto mecânico que alterariam também o projeto elétrico para integração com sistema de cola e de visão. Sendo assim, projeto elétrico ficou para ser apresentado no segundo evento de “Design Review”.

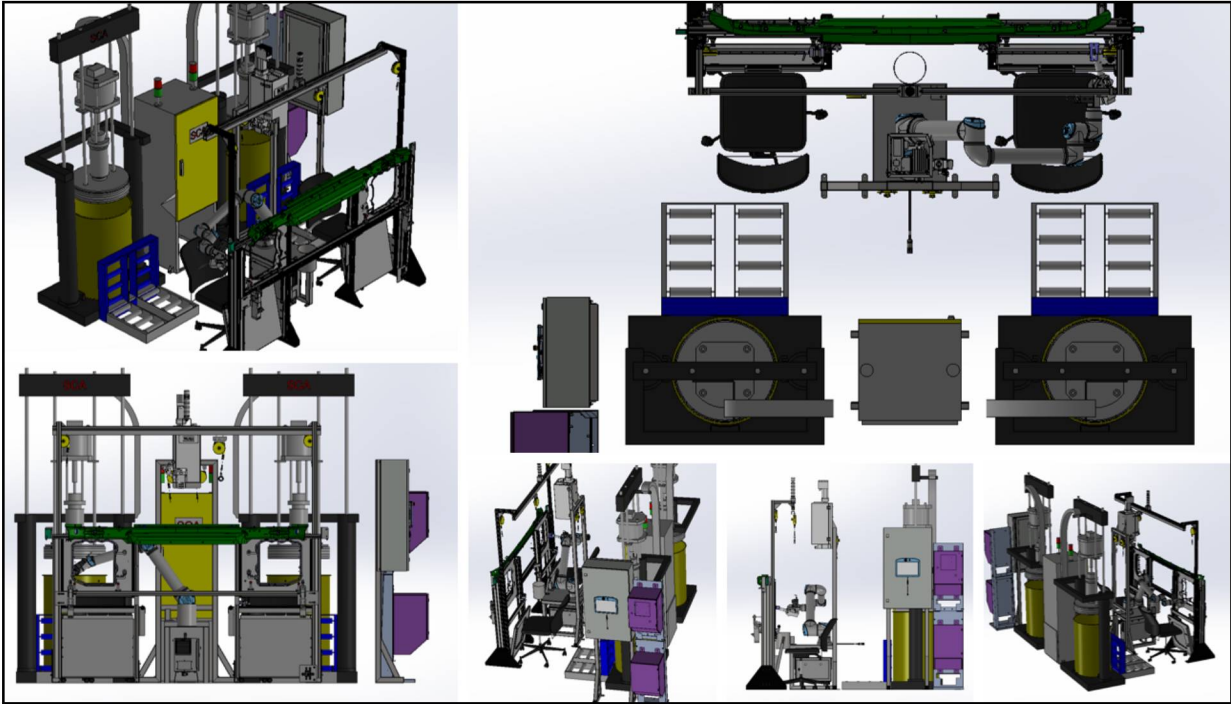
Com base no que foi pré-aprovado neste primeiro evento de revisão do desenvolvimento, a empresa contratada pôde iniciar processo de compras de materiais para confecção, enquanto trabalhava nas revisões solicitadas pela equipe da empresa contratante. A partir daí, novas reuniões e discussões foram realizadas para detalhar as soluções e responder aos itens apontados para correção e/ou alteração.

#### 3.2.1.2.2. *Design Review 02*

No segundo evento de revisão, envolvendo todas as áreas do projeto, foram apresentados o andamento dos desenvolvimentos dos projetos mecânico e elétrico e as alterações executadas desde o primeiro evento de “Design Review”.

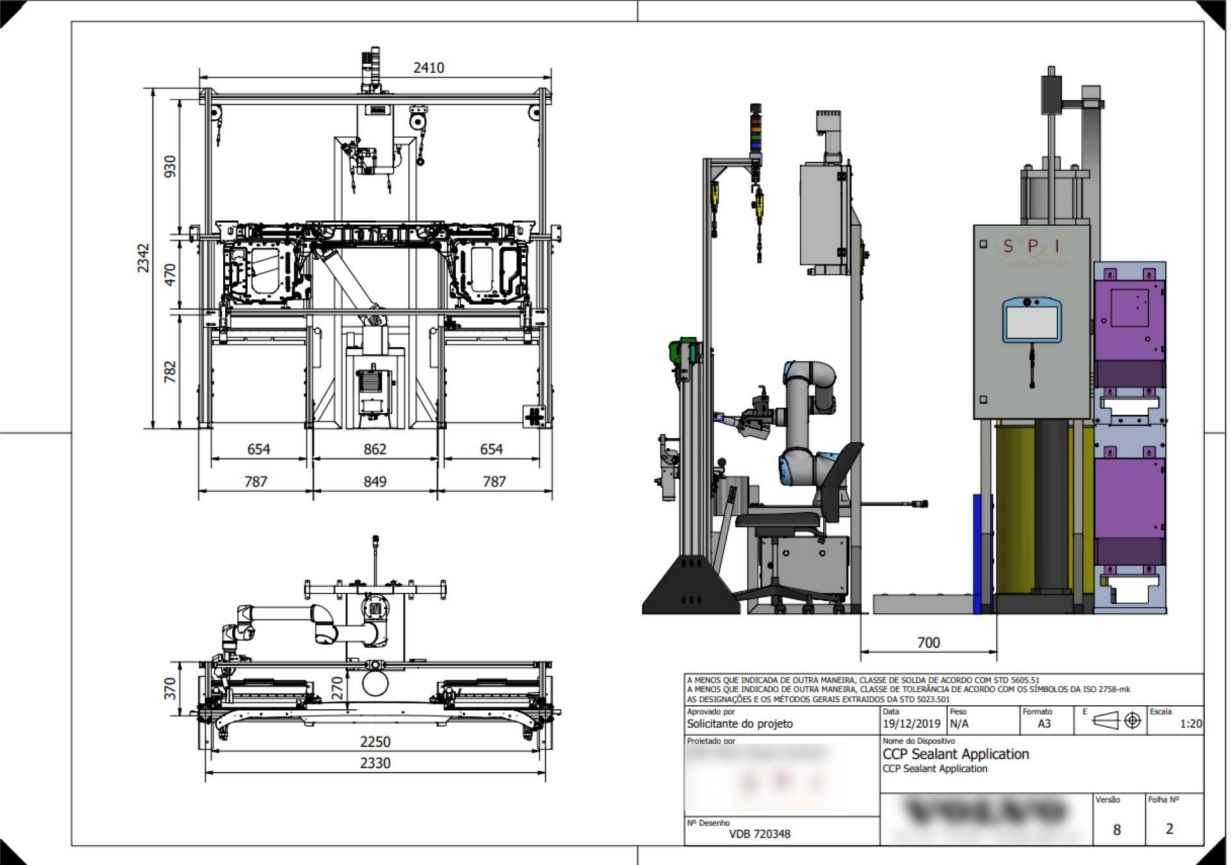
Projeto mecânico foi apresentado com a inclusão dos painéis de controle do equipamento de cola SCA, e com maior detalhamento dos fixadores do painel no dispositivo. Todo o projeto mecânico foi detalhado em AutoCad 2D e 3D com descrição de todo material usado e folhas de fabricação, foi apresentado e entregue tanto em pdf quanto em AutoCad. (conforme demonstrado nas FIGURAS 76 e 77 abaixo)

FIGURA 71 – PROJETO MECÂNICO COM A INCLUSÃO DOS PAINÉIS



FONTE: dos Autores

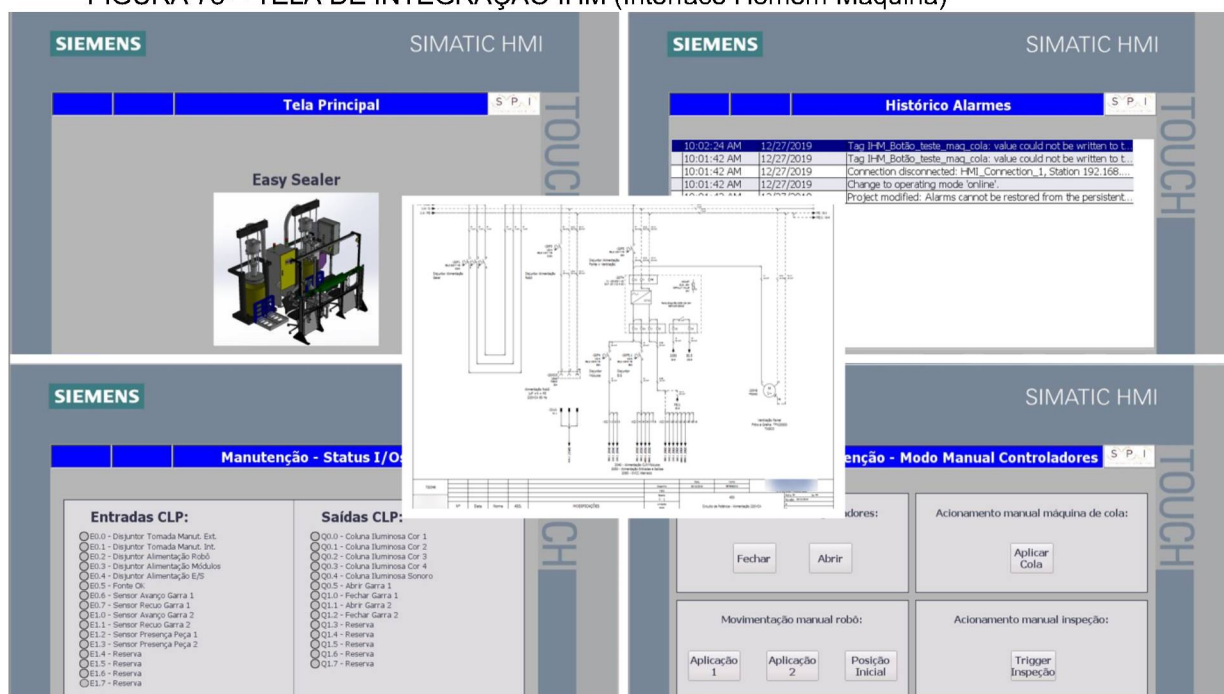
FIGURA 72 – PROJETO MECÂNICO COM A INCLUSÃO DOS PAINÉIS



FONTE: dos Autores

Foi apresentado o projeto elétrico detalhado para a solução desenvolvida, apresentado materiais a serem instalados e arquitetura elétrica para instalação. Além disso, foi abordado as preparações de telas da IHM (Interface Homem-Máquina) para controle da célula (ver FIGURA 78 abaixo) e discutido sobre os requisitos de programação para a integração do PLC com os sistemas de controle da produção (MES).

FIGURA 73 – TELA DE INTEGRAÇÃO IHM (Interface Homem-Máquina)



FONTE: dos Autores

Com base nas apresentações dos projetos, e nas rodadas de discussões técnicas para solução dos itens levantados durante as revisões de desenvolvimento, foi dada a aprovação para a confecção e instalação da solução apresentada e de acordo com a revisão do cronograma de instalação proposto.

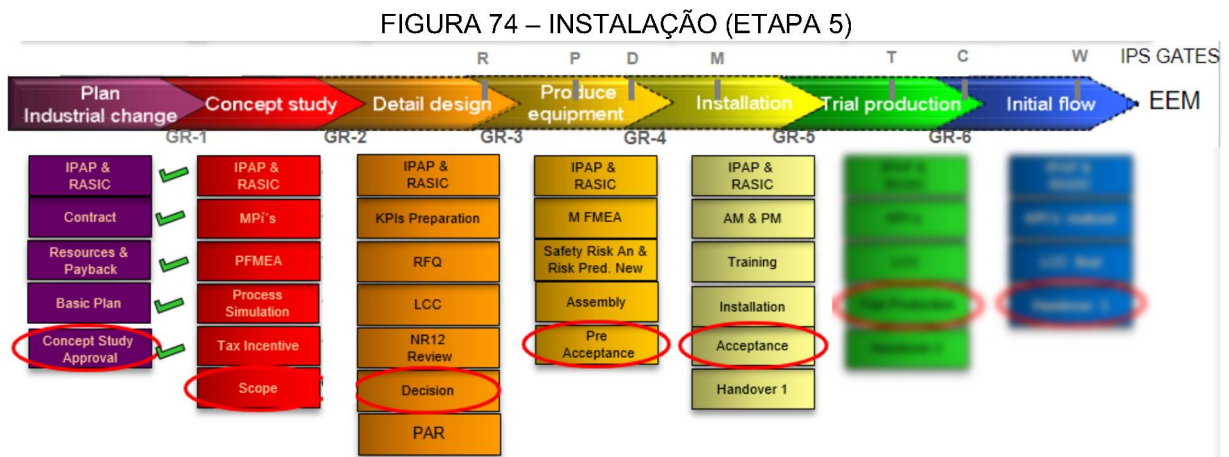
Mesmo com a aprovação durante o design review, houveram ainda várias rodadas de alinhamento e acompanhamento dos desenvolvimentos e dos ajustes de projeto solicitados durante as revisões, afim de acertar os detalhes para a instalação apropriada da solução.

### 3.2.2. STEP 05 – Instalação do equipamento

Estando o projeto aprovado e revisado por todo o time técnico da empresa contratante, deu-se o início nas instalações dos equipamentos. A etapa 05 do EEM, intitulada “Instalação” refere-se a todo o trabalho de construção dos equipamentos a



serem instalados, suas instalações na estação de montagem, a inicialização do funcionamento, o treinamento operacional e a orientação para a manutenção. Conforme demonstrado na FIGURA 79 abaixo.



FONTE: VPS Área Foco EEM (2019)

Afim de atender os prazos estipulados em comum acordo com a contratante, a instalação se deu em 03 etapas, conforme descrito abaixo, sendo que haveria produção nos períodos entre cada etapa. Isto significa que toda intervenção deveria ser controlada de maneira a não causar distúrbios e nem riscos para a produção que estaria usando a estação e os dispositivos para a aplicação manual do selante do painel de instrumentos.

#### Etapas da instalação dos equipamentos

- 01) Instalações mecânicas: das alterações no dispositivo de apoio do painel de instrumentos e posicionamento do robô colaborativo na sua posição (sem realizar a instalação elétrica do robô);
- 02) Instalações elétricas: componentes no painel elétrico (ex: PLC, contadores, etc), sensores no dispositivo, energização do robô colaborativo;
- 03) Instalação do sistema de visão, alterações no sistema de aplicação de cola e realização de todas as programações necessárias (robô colaborativo, PLC e sistemas de cola e de visão) para inicializar o funcionamento do equipamento instalado.

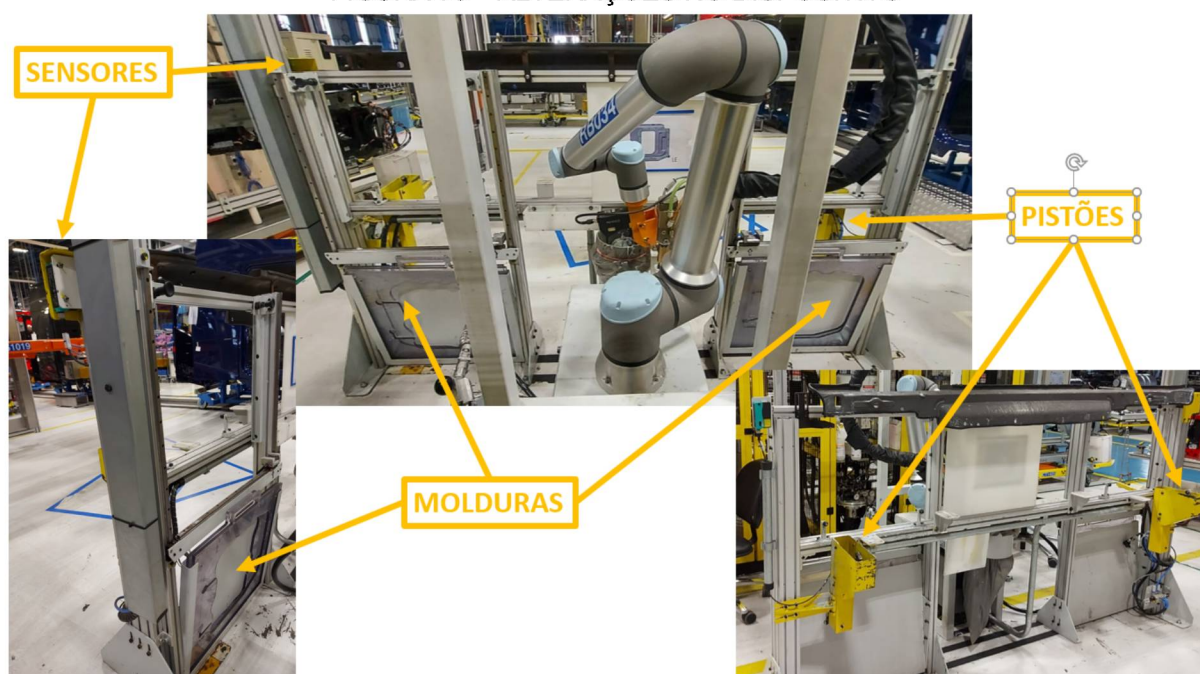
#### 3.2.2.1. Instalações Mecânicas



As instalações mecânicas foram realizadas no período de um final de semana, de tal forma que tudo foi preparado de forma antecipada para que o equipamento depois de alterado não interferisse na aplicação manual de selante que devia ser executada pelos operadores, visto que a solução automatizada ainda não estaria funcionando.

O dispositivo de apoio do painel de instrumentos foi alterado, com novos moldes móveis para possibilitar aplicação manual de selante quando for necessário, por exemplo, quando o robô colaborativo necessitar de algum tipo de manutenção. Além das molduras para aplicação manual, foram incluídos cilindros para travar painel de instrumentos na posição correta para aplicação do selante. A FIGURA 80 abaixo visa demonstrar as alterações no dispositivo realizadas pelo projeto.

FIGURA 75 – ALTERAÇÕES NO DISPOSITIVO



FONTE: dos Autores

O robô colaborativo, juntamente com sua pistola de aplicação de selante, foram instalados na posição projetada. Também foi instalado o painel elétrico com seu suporte fixado na posição projetada, ainda sem os componentes elétricos em seu interior e sem a fiação elétrica. Na FIGURA 81 abaixo mostra a comparação “ANTES x DEPOIS” da alteração do layout da estação de aplicação de selante do painel de instrumentos.

FIGURA 76 – COMPARAÇÃO DE LAYOUT (ANTES X DEPOIS)



Fonte: dos Autores

### 3.2.2.2. Instalações Elétricas

Já com o layout alterado durante a primeira etapa das instalações mecânicas, então foram realizadas as instalações elétricas e a energização dos equipamentos. Novamente, estas instalações foram realizadas de tal forma a não interferir na produção, assim como aconteceu com as alterações mecânicas.

No painel elétrico foram instalados todos os componentes elétrico-eletrônicos de acordo com projeto elétrico. A FIGURA 82 abaixo demonstra as instalações dentro do painel. No dispositivo de posicionamento do painel foram instalados sensores para reconhecimento do painel, conforme mostrado na FIGURA 81 acima.

FIGURA 77 – INSTALAÇÕES DENTRO DO PAINEL



Fonte: dos Autores



### 3.2.2.3. Instalação final e inicialização

Após as instalações mecânicas e elétricas concluídas, a etapa final das instalações aconteceu num feriado prolongado. Esta etapa teve por objetivo concluir as instalações de equipamentos e inserir todas as programações e parametrizações para iniciar processo automatizado para que a aplicação de selante no painel de instrumentos seja realizado pelo robô colaborativo.

Primeiramente foram instalados os equipamentos do sistema de cola para permitir a automatização, a saber, foram incluídos novos painéis eletrônicos de controle, adicionado um dosador e mangueiras com controle de aquecimento. A FIGURA 83 abaixo demonstra os equipamentos do sistema de cola que foram adicionados nesta instalação.

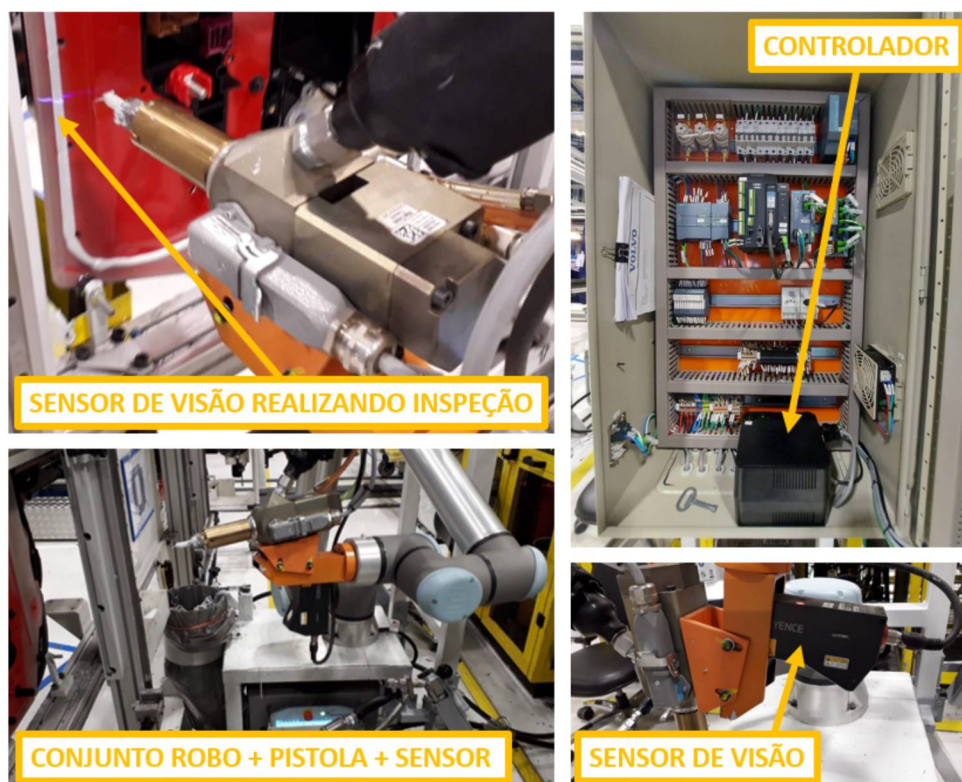
FIGURA 78 – EQUIPAMENTOS ADICIONADOS PARA O SISTEMA DE COLA



Fonte: dos Autores

Então foram instalados os equipamentos do sistema de visão para verificação da qualidade da aplicação realizada pelo robô colaborativo. Foram instalados, o controlador do sistema de visão para comunicação com o PLC posicionado dentro do painel elétrico, e o sensor de visão instalado na pistola de aplicação de cola. Na FIGURA 84 abaixo, demonstra os equipamentos instalados e um exemplo do seu funcionamento.

FIGURA 79 – EQUIPAMENTOS INSTALADOS



Fonte: dos Autores

Com tudo energizado e todos os equipamentos devidamente instalados, foram realizadas as programações de todo o conjunto instalados. No que se refere a programações, os seguintes equipamentos foram programados: robô colaborativo (lógica e rotas), PLC – controlador lógico programável (lógicas, rotinas de manutenção, interface Homem-Máquina), parametrizações dos sensores de posicionamento do produto, parametrização do controlador do sistema de aplicação de cola, parametrização e aferição do sistema de visão, interface de integração com sistemas de controle de fábrica (MES).

As atividades de programação foram coordenadas pela empresa contratada, responsável pela entrega do projeto (em formato “turn-key”), porém os sistemas de cola e de visão foram programados e parametrizados pelos sub-fornecedores contratados para cada especialidade. Ou seja, Atlas-SCA programou o sistema de cola e a Keyence programou o sistema de visão.

Apesar do robô colaborativo ter sido adquirido do sub-fornecedor Universal Robots, toda a programação e parametrização do equipamento com o PLC ficou sob responsabilidade da empresa contratada. Esta atividade compreendeu a marcação de



todos os pontos da rota de aplicação do selante, toda a movimentação do robô na estação e a lógica de funcionamento do robô colaborativo conectado ao PLC.

No que se refere ao PLC, a programação foi realizada de forma que o PLC controla todos o demais periféricos (robô, sistema de cola, sistema de visão, sensores e procedimentos de manutenção). Através da inclusão de uma tela IHM (Interface Homem Máquina) foi disponibilizado todos os comandos e modos de execução da célula como um todo, além das tratativas de falha e as rotinas de manutenção. Conforme demonstrado na FIGURA 85 abaixo, existem diversas opções de comandos, tanto no nível de acesso dos operadores assim como comandos exclusivos para acessos de técnicos de manutenção e robótica.

FIGURA 80 – OPÇÕES DE COMANDO E NÍVEIS DE ACESSO



Fonte 1: dos Autores

Com tudo programado, foram realizadas várias aplicações de selante para validação da qualidade da aplicação. Para que somente após avaliação dos responsáveis pela qualidade da produção, a solução pudesse ser entregue para inicializar a produção com o uso da robótica colaborativa para aplicação de selante no painel de instrumentos.



### 3.2.2.4. Handover I – inicialização e treinamento

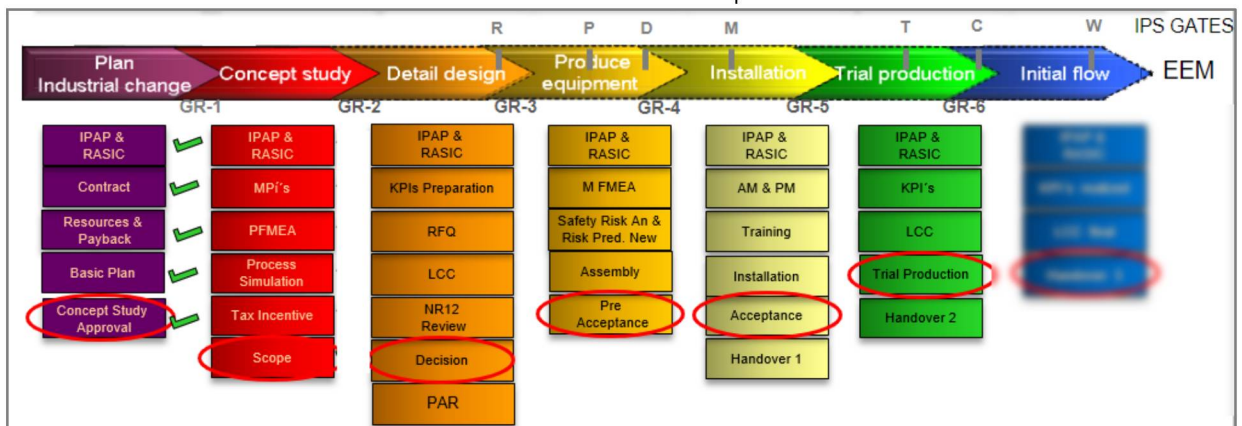
Com a fase de instalações concluída, foi dado o aceite para a inicialização do processo automatizado de aplicação de selante no painel de instrumentos. Porém, para que isso ocorresse de maneira segura tanto no aspecto de qualidade do produto quanto no aspecto de riscos para os operadores, foi entregue o Manual de Treinamento e realizado sessões de treinamento e acompanhamento para os operadores e manutentores para os 2 turnos de produção. Nesta fase da entrega, o equipamento ainda não estava integrado aos sistemas MES de controle da produção. Decisão tomada em comum acordo para que fosse realizado um período de validação do processo, por deixar o processo automático produzindo por algum tempo afim de realizar ajustes. Somente depois é que seria feita a integração de sistemas.

## 3.3. PROJETO DE DETALHAMENTO (STEPS 06 ao 07)

### 3.3.1. STEP 06 – Produção automática para validações e ajustes da solução.

Nesta fase do EEM, busca-se otimizar a solução entregue através da realização da produção acompanhada com a solução instalada e implementada. Sendo assim, houve um período em que a aplicação de selante foi realizada pelo robô colaborativo em meio a ajustes e validações da qualidade e estabilidade do processo. Para somente então realizar a entrega final de toda a documentação e “backup” dos programas para finalização das entregas da solução, conforme FIGURA 86 abaixo.

FIGURA 81 - EEM Step 06



Fonte: VPS Área Foco EEM (2019)

Foi nessa fase também que a integração com os sistemas MES de controle de fábrica foi concluída. Para tanto, alterações no PLC e no circuito elétrico foram necessários.

#### *3.3.1.1. Validações, ajustes, parametrizações e acompanhamento da produção.*

Iniciada a produção com processo automatizado sendo realizado pelo robô colaborativo, houve o envolvimento das áreas de produção e qualidade da produção para verificar se a qualidade da aplicação do selante aplicado pelo robô estava ou não satisfatória para evitar impactos negativos nos veículos produzidos.

Para tanto, algumas pessoas ficaram temporariamente responsáveis em inspecionar tanto o resultado da montagem na estação, logo após a montagem do painel de instrumentos na cabine. Estas pessoas ao observar alguma variação informavam o técnico de produção para solicitar ajustes no programa de aplicação de selante.

Também foram designadas pessoas para verificar cautelosamente os resultados do teste de estanqueidade dos veículos. Assim, todo veículo ao sair do teste de infiltração passava por uma inspeção dedicada a encontrar se havia ou não infiltração de água. A medida que fossem encontradas infiltrações de água pelo painel de instrumentos, eram realizados ajustes no programa do robô afim de melhorar a qualidade da aplicação de selante.

Este período de ajustes durou apenas cerca de uma semana, pois os resultados demonstraram resultados bastante satisfatórios, melhores que as aplicações manuais. Poucos ajustes foram necessários para atingir o nível de qualidade esperado.

#### *3.3.1.2. Integração com sistemas MES de controle de fábrica*

Estando a célula robótica automatizada funcionando com o nível de qualidade esperado e sem apresentar instabilidade na aplicação de selante, foi realizada a integração com o sistema MES (Manufacturing Execution System) afim de que o robô seja controlado pelo sistema e não mais pelo operador.

Os requisitos e formato da integração entre equipamentos e sistema MES são padronizados pela matriz na Suécia. Tal padrão especifica o protocolo de comunicação entre CLP e sistema, porem não determina a topologia de rede, cabendo ao padrão de

segurança de rede de cada fábrica do grupo. Sendo assim, por orientação do departamento de Tecnologia da Informação (IT), foi instalado uma placa de rede Siemens Scalance XC208 afim de isolar a rede industrial da rede VCN.

A integração de sistemas é formada por uma série de preparações de diferentes sistemas. Para que aconteça todo o fluxo de informação desde o sistema de instruções operacionais até o equipamento e assim também retorne os resultados da execução, são realizadas preparações em pelo menos 4 sistemas e a inclusão de blocos de função e dados no PLC. Os sistemas preparados são chamados de:

SPRINT: sistema de instruções operacionais

FCS: sistema de controle de fábrica

ECS.AAS: sistema de controle da execução

VD: sistema de configuração de canais de comunicação

No sistema SPRINT são preparadas todas as intruções de montagem dos veículos, sendo assim, foram preparadas instruções para enviar ao PLC qual o programa de aplicação de selante deve ser executado, conforme mostra na FIGURA 87 abaixo. Observe que a instrução 49312 para o Operador 309 contém especificações de programas a serem enviados para o equipamento (Exemplo: WET#EQ||0001)

FIGURA 82 – PREPARAÇÃO DE INSTRUÇÃO

VDM Groups (7)	Mergable	Type	VDM Group	Re/ CN From	CN From Date	No Print	Description	CN To	CN To Date	WET/PAR Code	Variant Combination	Brief Content
	<input type="checkbox"/>	ABC Text	244224	P0015157	1 13331	<input type="checkbox"/>	WET#CONFIRMATION		21411	WET#CONFIRMATION	TYPE-FH	Aplicar cola na chapa do CCP LD
	<input type="checkbox"/>	ABC Text	431870	K1424528	1 21411	<input type="checkbox"/>	WET#CONFIRMATION			WET#CONFIRMATION	24-HDV	Aplicar cola na chapa do CCP LD
	<input type="checkbox"/>	ABC Text	431870	20453	1 20453	<input type="checkbox"/>	WET#EQ  000			WET#EQ  0000	TYPE-FH	Aplicação produto FH
	<input type="checkbox"/>	ABC Text	431871	20453	1 20453	<input type="checkbox"/>	WET#EQ  000			WET#EQ  0001	TYPE-FM_CABH175/CABH215	Aplicação produto FM

Fonte: dos Autores

Além disso, para que a instrução identifique para qual equipamento deve enviar a receita do programa, as instruções são endereçadas para uma estação virtual de instruções (AIA – Assembly Instructions Area) assim como mostra a FIGURA 88 abaixo. Observe que o Operador 309 está direcionado para a estação de referencia (AIA = Assembly Instruction Reference) chamada FCTM431B.

FIGURA 83 – PREPARAÇÃO DE ESTAÇÃO VIRTUAL PARA INTEGRAÇÃO

**Name:** Op 309 (Panel LD)

**Description:** C30 - Est 430

**Change Note From:** CN: P0024042, From Date: 20341, Inherited CN: P0024042, From Date: 20341

**Change Note To:** CN: , To Date: , Inherited CN: , To Date:

Fixed Attributes	Name	Value	Inherited Value	Unit
Amac		970.2		Cmin
Percentage losses			0.0	%
Units per day			50	Products/day
Time per day			8.25	Hours
MTM Rate			98	Mtm
Number of operators			4	Operators
Allowed overload			1.0	Cmin

Dynamic Attributes	Name	Value	Inherited Value	Unit
Document Group GDL		C30 - 305		
Work cell reference		FCTM431	FCTM431	
Instruction area reference		FCTM431B		
Driver Manual				
PRD_PRODUCTTYPE				
PRD_DEPARTMENT				
PRD_STATION				

Fonte: dos Autores

As instruções de montagem preparadas no sistema chamado SPRINT são enviadas para o sistema chamado FCS (Factory Control System), usando o endereço da estação para que o FCS direcione as instruções para o sistema de controle da execução da montagem (AAS). Na FIGURA 89 abaixo é possível observar parte da preparação da estação para a qual as instruções do programa do equipamento foram enviados.

FIGURA 84 – PREPARAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DE FABRICA (FCS)

**Factory Control System**  
Curitiba

**Administrare Equipment**

**Equipment Definition** | Active/Passive Configuration | Master/Target Production Line

Add nodes and make desired configuration in the right panel

**FCTM431B**

**Equipment Details** | Physical Assets

**Equipment Name:** FCTM431B

**Equipment Type:** FCTM431B

**Instruction Area:** FCTM431B

**Parent Equipment Name:** FCTM431

Equipment Attribute	Name	Value
External Producer		True
Frame Upside-down		Select
To extract and execute operations in FCS		False
To extract and execute quality instructions in FCS tablet		False
To send only WetCode Instructions or complete		False

Fonte: dos Autores



O sistema AAS (Assembly Assurance System) tem por objetivo controlar que as instruções requisitadas foram de fato executadas ou não. Existem várias opções de como assegurar que as instruções sejam seguidas, tanto interações manuais realizadas pelo operador, o uso de escaners para coletar informações das montagens e comunicação direta com equipamentos. No caso do robô colaborativo, as instruções recebidas do FCS atingem as preparações de equipamentos da estação no AAS, conforme demonstrado na FIGURA 90 abaixo. Observe na imagem que foi preparado na estação um equipamento chamado **COL** com as devidas especificações dos possíveis programas que o equipamento pode executar. Tal preparação do equipamento inclui o chamado “Datapoint” que estabelece o canal de comunicação entre o sistema e o equipamento.

FIGURA 85 – PREPARAÇÃO PARA INTEGRAÇÃO COM SISTEMA ECS.AAS

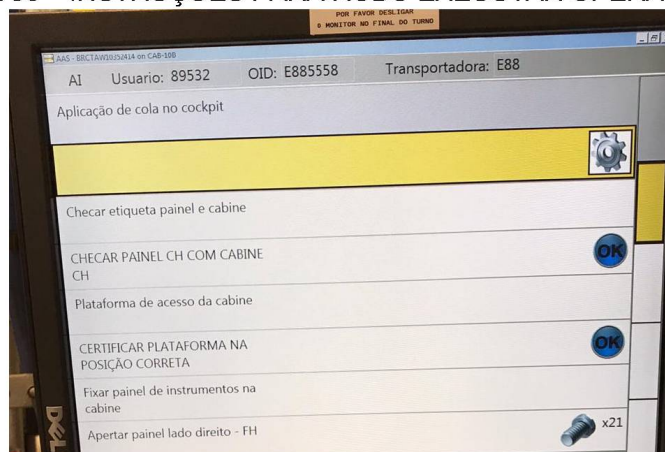
Name	Type	Always Long Running	Preparation Station	Physical Workcell	Logical Workcell	Datapoint
FCTM031B_Scanner	Scanner	<input type="checkbox"/>		FCTM031B	FCTM031B	CTAN0VH0VCABH0VCABTRIMLINEH0VCAB.FCTM031B
HT100	Hardware	<input type="checkbox"/>		FCTM031B	FCTM031B	CTAN0VH0VCABH0VCABTRIMLINEH0VCAB.FCTM031B
HT101	Hardware	<input type="checkbox"/>		FCTM031B	FCTM031B	CTAN0VH0VCABH0VCABTRIMLINEH0VCAB.FCTM031B
COL	Text Equipment	<input checked="" type="checkbox"/>		FCTM031B	FCTM031B	CTAN0VH0VCABH0VCABTRIMLINEH0VCAB.FCTM031B.TextEquipmentCOL

Specification	Instruction
9001	1000
9002	2000

Fonte: dos Autores

O AAS também gera um visualizador de instruções para os operadores poderem interagir com o sistema e saber o que deve ser executado na montagem dos veículos. Conforme pode observar na FIGURA 91 abaixo, foi enviada a instrução de “Aplicação de cola no cockpit” para o equipamento.

FIGURA 86 – INSTRUÇÕES PARA ROBÔ EXECUTAR OPERAÇÃO (AAS)



Fonte: dos Autores



Para que o equipamento receba a receita do programa que deve executar, foi realizada uma preparação do canal de comunicação no sistema VD (Virtual Device). Assim sendo, foi preparado um equipamento **COL** contendo o mesmo canal de comunicação “*Datapoint*” para que o fluxo de informação aconteça de maneira apropriada. Conforme pode observar na FIGURA 92 abaixo, a preparação do equipamento indica alguns parâmetros (Ex: rack, slot, host e port) do PLC do equipamento para que a receita seja recebida e processada pelo equipamento.

FIGURA 87 – PREPARAÇÃO DO CANAL DE COMUNICAÇÃO ENTRE ECS.AAS E VD

The screenshot displays the 'VIRTUAL DEVICE ADMINISTRATION' window. On the left, a list of instances includes 'VDEV\_01\_CAB\_F'. The main area shows a table of channels. The 'COL' channel is highlighted, and its configuration is shown below.

Channel Name	Instance	Status
BOC	VDEV_01_CAB_F	Enabled
WS	VDEV_01_CAB_F	Enabled
<b>COL</b>	<b>VDEV_01_CAB_F</b>	<b>Enabled</b>
HT1234_NR	VDEV_01_CAB_F	Enabled
HT927_NR	VDEV_01_CAB_F	Enabled

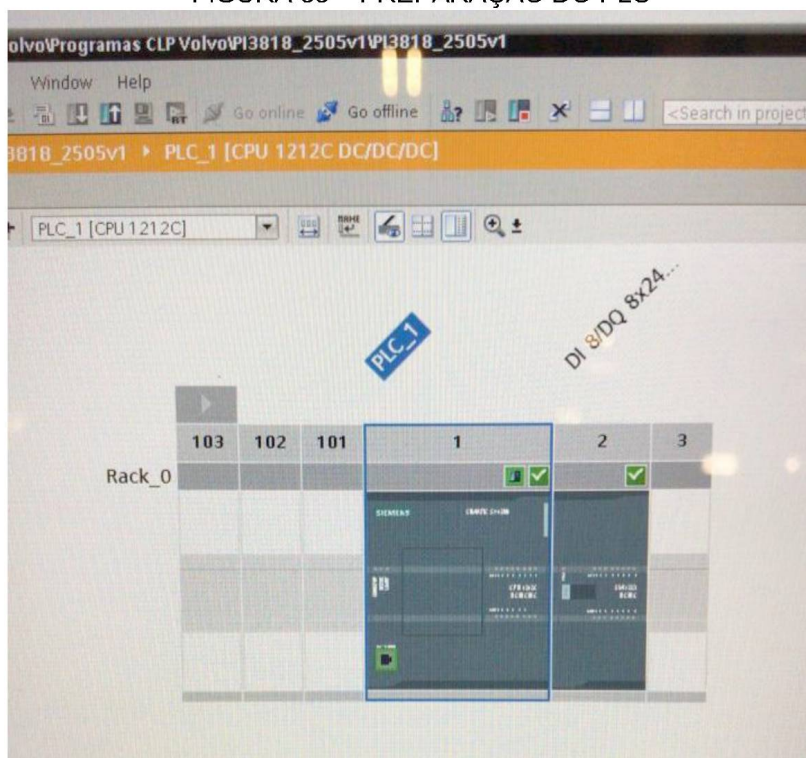
Below the channels table, the 'Datapoints' section is expanded, showing a list of data points. The 'COL' channel is selected, and its configuration is shown in the 'Channel Options' section.

Channel Options	COL
tcp.remotePort	102
tcp.remoteHost	170.167
s7f.dataPointMonitoringDelay	333
s7f.cpuRack	0
s7f.cpuSlot	1
s7f.dataPointMonitoringInitialDelay	1000

Fonte: dos Autores

No programa do PLC para o robô colaborativo, foram preparados os parâmetros de comunicação afim de possibilitar a integração com os sistemas de controle e forma segura. Conforme pode observar na imagem 93 abaixo, o PLC foi posicionado no Rack 0, Slot 1 correspondente a preparação no VD.

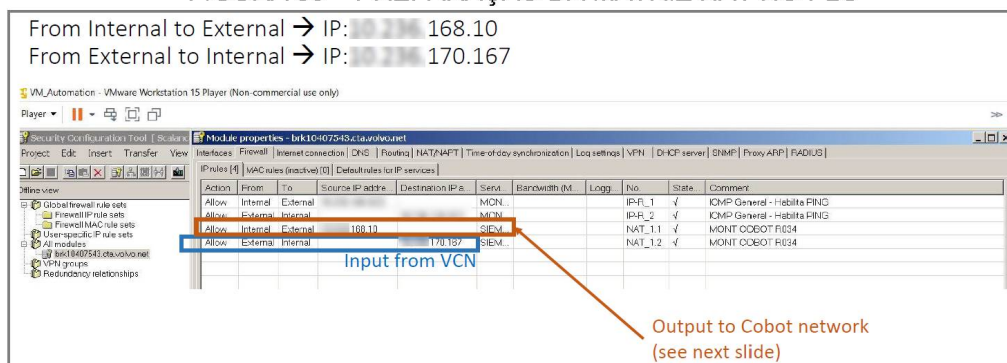
FIGURA 88 – PREPARAÇÃO DO PLC



Fonte: dos Autores

Por meio da placa de rede Scalance, foi utilizada a transformação da rede de forma a proteger a rede VCN por meio da tradução dos endereços IPs internos e externos. Observe na FIGURA 94 abaixo que o endereço IP configurado no VD com final 167 é traduzido para um novo endereço IP com final 10. Estabelecendo assim os canais de comunicação do PLC para o sistema e vice-versa.

FIGURA 89 – PREPARAÇÃO DA MATRIZ NAT NO PLC



Fonte: dos Autores

No programa do PLC, foram inseridas logicas de programação tais que recebem dos sistemas de controle a instrução sobre qual programa deve ser executado, conforme demonstrado na FIGURA 92 do sistema VD acima, a porta de comunicação configurada é a 102, assim como exemplificada na FIGURA 95 abaixo do PLC.

FIGURA 90 - Programação do PLC para comunicação com sistema VD

	Address	Symbol	Display format	Status value	Modify value
1	DB16.DBB 100	"MONT	DEC	3	3
2	DB16.DBW 102	"MONT	DEC	8	8
3	DB16.DBD 104		CHARACTER	'0001'	'0001'
4	DB16.DBD 108		CHARACTER	'0000'	'0000'
5	DB16.DBD 112		CHARACTER	'0016'	'0016'
6	DB16.DBD 116		CHARACTER	'0001'	'0001'
7	DB16.DBD 120		CHARACTER	'0001'	'0001'
8					

Fonte: dos Autores

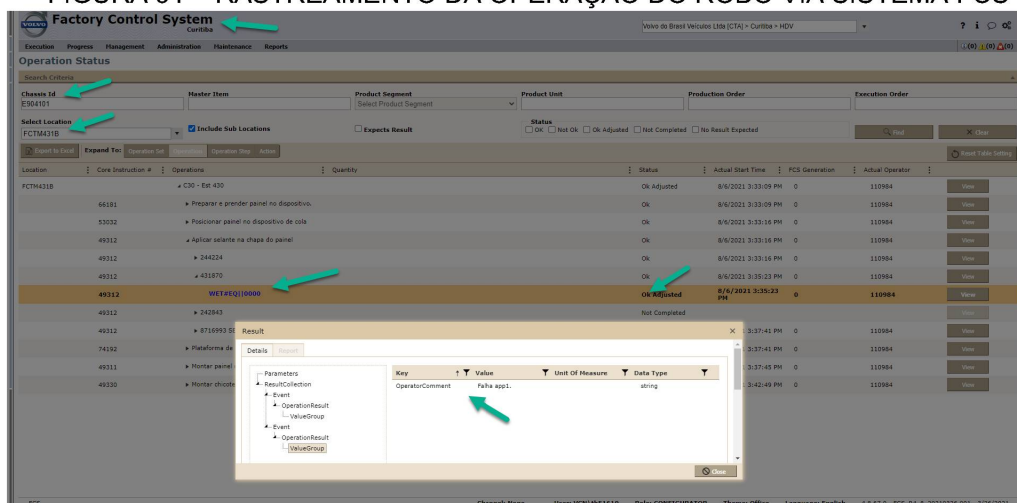
Após toda a programação concluída no PLC e todos os sistemas configurados e preparados para a integração, o funcionamento do robô passou a ser controlado pelo sistema e pelos sensores. A forma de trabalho ficou definida da seguinte forma:

- Operador posiciona painel de instrumentos no dispositivo de apoio;
- Sensores reconhecem que painel está na posição;
- Operador usa o AAS para confirmar que colocou o painel no dispositivo;
- AAS envia, através do VD, a instrução para o PLC;
- PLC comanda robô para executar aplicação e sistema de visão para verificar aplicação;
- PLC envia ao AAS os resultados da operação, através do VD;
- AAS envia para o FCS os resultados da operação.

Desta forma, todo o processo automatizado é comandado e os registros de sua execução são armazenados nos sistemas de controle de fábrica (FCS). A FIGURA 96 abaixo demonstra um exemplo real do resultado de uma aplicação de selante realizada pelo robô colaborativo em que o sistema de visão reportou falha e o operador descreveu que a falha ocorreu na aplicação 1, ou seja, no lado esquerdo do equipamento.



FIGURA 91 – RASTREAMENTO DA OPERAÇÃO DO ROBÔ VIA SISTEMA FCS



Fonte: dos Autores

Desta forma, é possível obter facilmente os resultados de tudo que aconteceu com o processo de aplicação de selante do painel de instrumentos caso um cliente apresente reclamação de infiltração de água, além de gerar dados estatísticos que podem ser analisados para otimização do processo.

### 3.3.1.3. Handover II – documentação e entrega da solução.

Com o equipamento operante e integrado aos sistemas de controle, além do fato da qualidade da aplicação estar satisfatória, foi autorizada a realização da entrega final do equipamento. Desta forma, dando início a fase final do projeto.

Sendo assim, o fornecedor atualizou toda a documentação do projeto de acordo com os ajustes realizados na sua instalação e validação do processo (as-built) e entregou a versão final dos projetos elétrico, mecânico e backups de softwares.

Toda a documentação entregue passou por revisão do setor de Engenharia de Manutenção, os desenhos e documentações legais (APR, ART, Registros de Treinamentos, etc) foram armazenados em diretório controlado pela Engenharia de Manutenção.

Somente após entregue e validada toda a documentação é que foi assinado o aceite final da entrega realizada dando assim fechamento do projeto com o fornecedor em 29 de Julho de 2020, conforme FIGURA 97 abaixo.

FIGURA 92 – AVALIAÇÃO DO CLIENTE

Título		Código	
Avaliação do Cliente - AT		AC-AT	
PI		3818	
Cliente:	Projeto	Data:	
Curitiba	Cobot Sealer Cockpit	29/07/2020	

**SGI - Avaliação do Cliente**

Com o objetivo de podermos realimentar nossos processos e nossa qualidade de atuação, queira por favor responder às questões que se seguem. Você estará colaborando para a melhoria de nossos serviços e consequentemente para sua satisfação.

- O cronograma foi seguido conforme a necessidade do projeto? ☐ Sim ☒ Não
- Durante o desenvolvimento, a equipe demonstrou destreza em absorver adaptações e solicitações do usuário do sistema? ☒ Sim ☐ Não
- Avalie a qualidade da comunicação com a SPI neste projeto:
 

Foram as trocas de informações claras e objetivas?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Foram formalizadas quando devido?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Foram antecipadas as inconsistências?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Foram repassadas internamente tais informações?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
- Quando aplicável, avalie os itens abaixo:
 

4.1 Desenvolvimento do Supervisor.	<input type="checkbox"/> Ruim	<input type="checkbox"/> Aceitável	<input checked="" type="checkbox"/> Bom	<input type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> NA
4.2 Desenvolvimento do programa do PLC.	<input type="checkbox"/> Ruim	<input type="checkbox"/> Aceitável	<input type="checkbox"/> Bom	<input checked="" type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> NA
4.3 Desenvolvimento da IHM.	<input type="checkbox"/> Ruim	<input type="checkbox"/> Aceitável	<input type="checkbox"/> Bom	<input checked="" type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> NA
4.4 Teste Aplicado ao Painel.	<input type="checkbox"/> Ruim	<input type="checkbox"/> Aceitável	<input type="checkbox"/> Bom	<input checked="" type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> NA
4.5 Teste de Aceitação em Fábrica (TAF-TA).	<input type="checkbox"/> Ruim	<input type="checkbox"/> Aceitável	<input type="checkbox"/> Bom	<input checked="" type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> NA
4.6 Teste de Aceitação em Campo (TAC-TA).	<input type="checkbox"/> Ruim	<input type="checkbox"/> Aceitável	<input type="checkbox"/> Bom	<input checked="" type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> NA
4.7 Acompanhamento de Produção.	<input type="checkbox"/> Ruim	<input type="checkbox"/> Aceitável	<input type="checkbox"/> Bom	<input checked="" type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> NA
4.8 Treinamentos envolvidos.	<input type="checkbox"/> Ruim	<input type="checkbox"/> Aceitável	<input checked="" type="checkbox"/> Bom	<input type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> NA
4.9 Qualidade da documentação final.	<input type="checkbox"/> Ruim	<input type="checkbox"/> Aceitável	<input type="checkbox"/> Bom	<input checked="" type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> NA
- Referente aos itens avaliados acima, queira por favor comentar aqueles assinalados com **Não, Ruim ou Aceitável**.  

O cronograma acabou sendo impactado em diferentes momentos e por diferentes responsabilidades, portanto tivemos de nos adequar aos cenários que foram surgindo.
- Espaço reservado para opinião Comercial:  
Favor comentar a avaliação do cliente e sugerir melhorias.

Responsável Cliente:	Visão:	Lugar e Data:
André Godoi		Curitiba, 29 de Julho de 2020

Emissão:	Rev.	Data Emissão:	Páginas
SGI - Sistema de Gestão Integrado	06	30/11/17	1/1

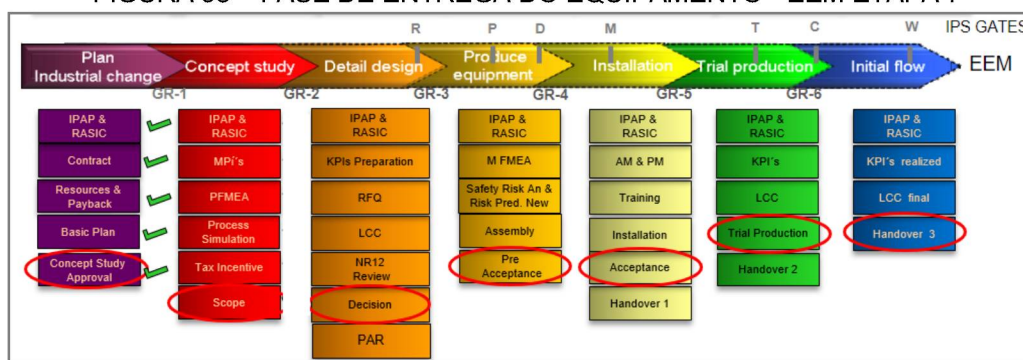
Fonte: dos Autores

### 3.3.2. STEP 07 – SoP Inicio da produção com processo automatizado

A última fase do EEM, é onde a solução passa a ser monitorada para validar os indicadores e resultados obtidos e para finalizar o projeto junto a organização da empresa. Nesta etapa são apresentados aos gestores da empresa uma revisão geral do projeto e demonstra-se os resultados obtidos com a solução implementada, oficializando assim a entrega final do grupo de trabalho do projeto para a organização em linha. Com a aprovação dos gestores para o “Handover 3” da FIGURA 98 abaixo o projeto está concluído.



FIGURA 93 – FASE DE ENTREGA DO EQUIPAMENTO - EEM ETAPA 7



Fonte: VPS Área Foco EEM (2019)

Os resultados tangíveis obtidos devem medidos conforme os indicadores determinados no “STEP 03” (item 3.1.3.1) deste projeto. Porém, para fechamento do projeto ainda não seria possível ter robustez nos calculos devido a pouco tempo da celula automatizada em funcionamento. Assim sendo, por se tratar de uma nova tecnologia implementada, os gestores concordaram em esperar uma nova revisão dos indicadores depois de 1 ano de funcionamento.

Isto somente foi aceito pelo fato de que os resultados práticos da automação foram bastante satisfatórios e facilmente percebidos na prática. O processo automatizado tornou a operação mais facilitada, mais produtiva, mais eficiente, mais segura, com melhor qualidade e também controlada pelos sistemas de controle de fábrica. Tanto os operadores da estação de montagem quanto seus gestores demonstraram satisfação com o novo processo automatizado e isto serviu de base para que a diretoria aceitasse os seguintes dados como validação da entrega:

a) Maior eficiência no consumo de selante

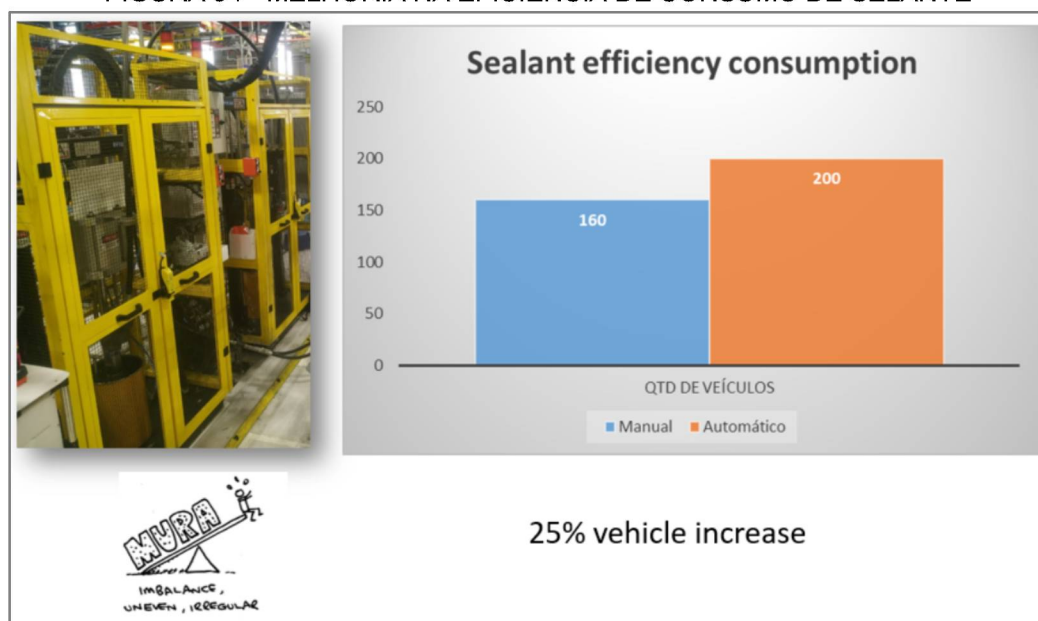
O processo manual que anteriormente era realizado pelos operadores não apresentava condições de manter sob controle a quantidade exata de selante aplicado, ficando sempre suscetível as habilidades e treinamentos dos operadores ter o controle da quantidade de selante aplicado. Isso sem falar que com frequência era solicitado aplicar mais cola em certa região para evitar problemas de qualidade com infiltração de água nos veículos. Após a implementação do processo automatizado a aplicação de selante ficou estável e com repetibilidade tal que a quantidade de selante aplicada é a mesma para os veiculos de mesmo modelo, sem variação de um veiculo pra outro. Com isso, através da validação da qualidade citada na item 3.3.1.1 deste projeto, não foram mais necessários exagerar na aplicação de

selante em certas regiões pois a rota e a quantidade de selante foram padronizados.

Sendo assim, ficou evidenciado um aumento de cerca de 25% de eficiência na aplicação de selante, representando que com a mesma quantidade de selante (tambor de 23 litros) que antes produzia em torno de 160 veículos no processo manual, agora com o processo automatizado produz 200 veículos, conforme mostra na FIGURA 99 abaixo. Isso representa economia de aproximadamente R\$40.000 a.a. de selante.

Também podemos citar o ganho ambiental na redução de consumo de produtos químicos, pois a cada troca de tambor de selante é inevitável o desperdício de resíduos com destinação específica de produtos químicos.

FIGURA 94 - MELHORIA NA EFICIÊNCIA DE CONSUMO DE SELANTE



Fonte: dos Autores

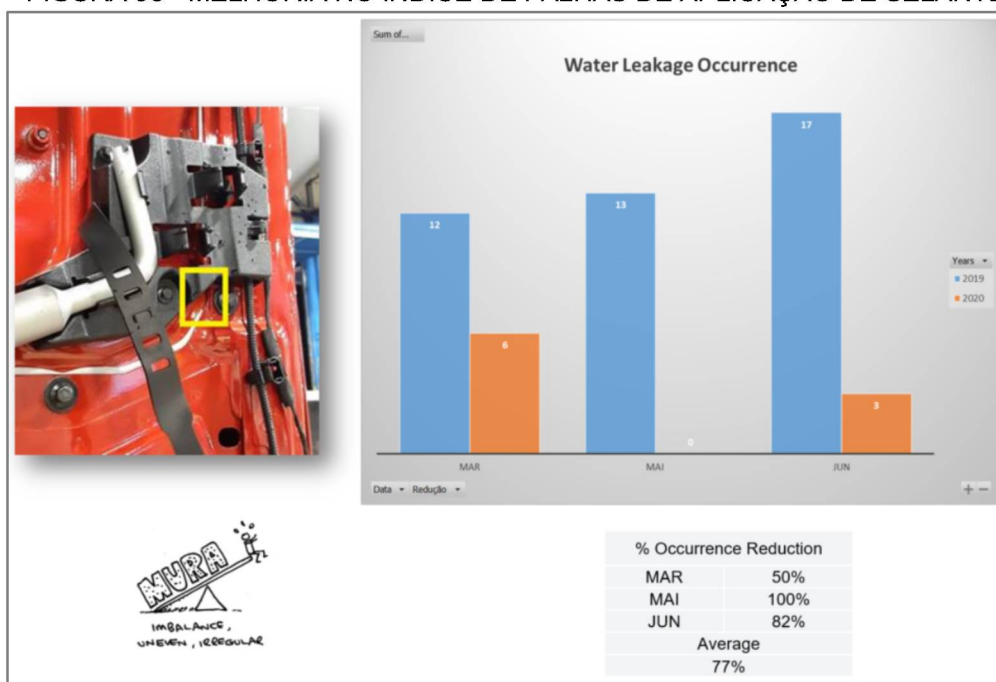
#### b) Redução de infiltrações de água nos veículos

O processo automatizado validado garante a repetibilidade do processo de aplicação de selante de tal forma que, se o dimensional do produto se mantém estável e o posicionamento do painel no dispositivo de apoio é garantido, o resultado de estanqueidade é controlável. Sendo assim, o fator de qualidade foi um dos efeitos positivos que primeiro chamou atenção do grupo de trabalho e da área de qualidade. A FIGURA 100 abaixo mostra uma medição comparando 2 períodos específicos para fins de validação dos números comparativos, e apresenta uma melhora de 77% na taxa de

ocorrência de infiltrações no momento do fechamento do projeto. Esta redução neste patamar de melhoria da qualidade representa em média uma redução de custos de cerca de R\$33.000,00 a.a.

Entretanto, ao longo do tempo, com mais alguns ajustes realizados pelos robotistas, os resultados na prática estão ainda melhores que os apresentados aos gestores no fechamento do projeto. Atualmente não se tem mais registros de infiltração de água pelo painel de instrumentos por meses, o que representa uma melhoria de custos e tempo de retrabalho ainda maior.

FIGURA 95 - MELHORIA NO ÍNDICE DE FALHAS DE APLICAÇÃO DE SELANTE



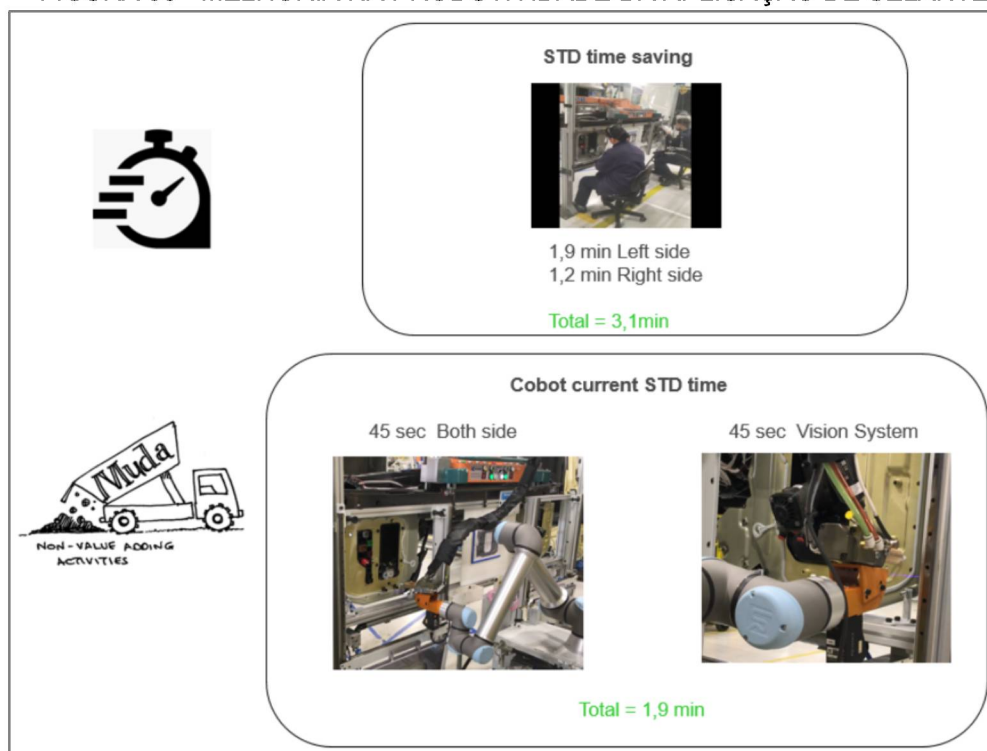
Fonte: dos Autores

### c) Maior produtividade na execução da tarefa

A automação causou também o esperado ganho em produtividade, pois com o processo de aplicação de selante sendo feito pelo robô colaborativo a mão-de-obra dos operadores que gastavam mais de 1 minuto cada para aplicar selante pôde ser utilizada para realizar outras tarefas enquanto o robô aplica o selante. A FIGURA 101 abaixo demonstra que foi possível liberar 3,1 minutos de atividade operacional para que os operadores realizem outras tarefas, e também demonstrar que o robô colaborativo realiza a aplicação de cola e inspeção com sistema de visão

em 1,9min. Este ganho de produtividade representa maior produtividade no valor aproximado de R\$36.000,00 a.a.

FIGURA 96 - MELHORIA NA PRODUTIVIDADE DA APLICAÇÃO DE SELANTE



Fonte: dos Autores

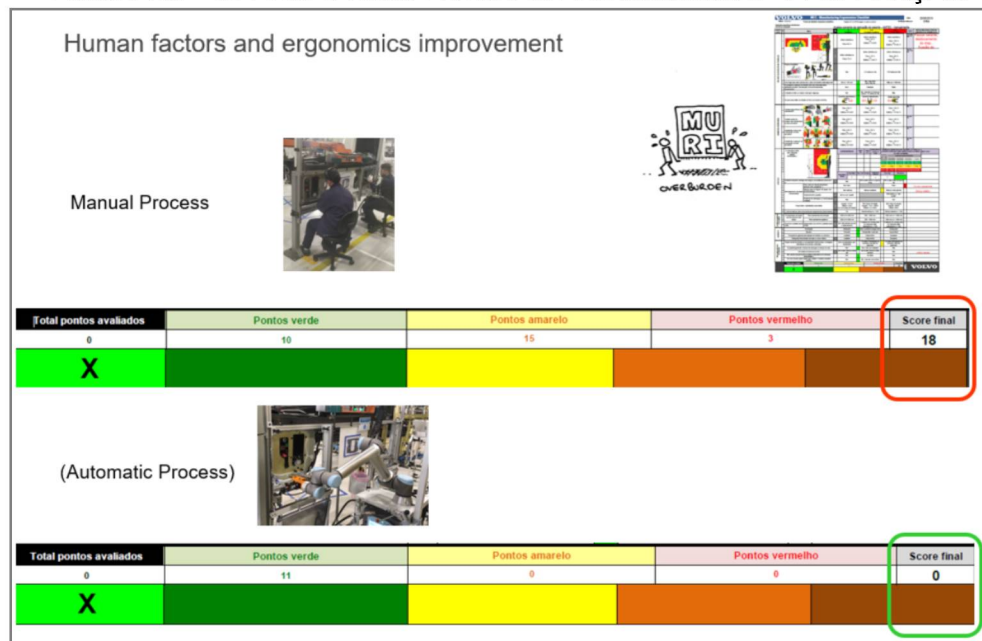
d) Mais segura com ergonomia do posto de trabalho melhorada

O ganho na qualidade de vida dos operadores se deu também no resultado da avaliação ergonômica da atividade. O processo manual executado anteriormente apresentava 18 pontos ergonômicos que exigiam atenção, precisão e repetibilidade por parte dos operadores para executar a tarefa, isso ao longo do dia/semana poderia ser causa de fadigas e desconfortos operacionais. Com o processo automatizado, tais atividades foram transferidas para o robô e assim os 18 fatores ergonômicos da avaliação anterior foram eliminados, conforme mostra na FIGURA 102 abaixo.

Apesar de não haver ganho econômico diretamente relacionado, o ganho na qualidade de vida dos operadores é um alvo constantemente valorizado pela organização e tal redução demonstrou a contribuição do projeto para atingimento dos objetivos estratégicos da empresa em fornecer melhores condições de trabalho aos seus funcionários.



FIGURA 97 - MELHORIA NOS FATORES ERGONÔMICOS DA OPERAÇÃO



Fonte: dos Autores

e) Melhor controle da execução e registros do processo em sistemas

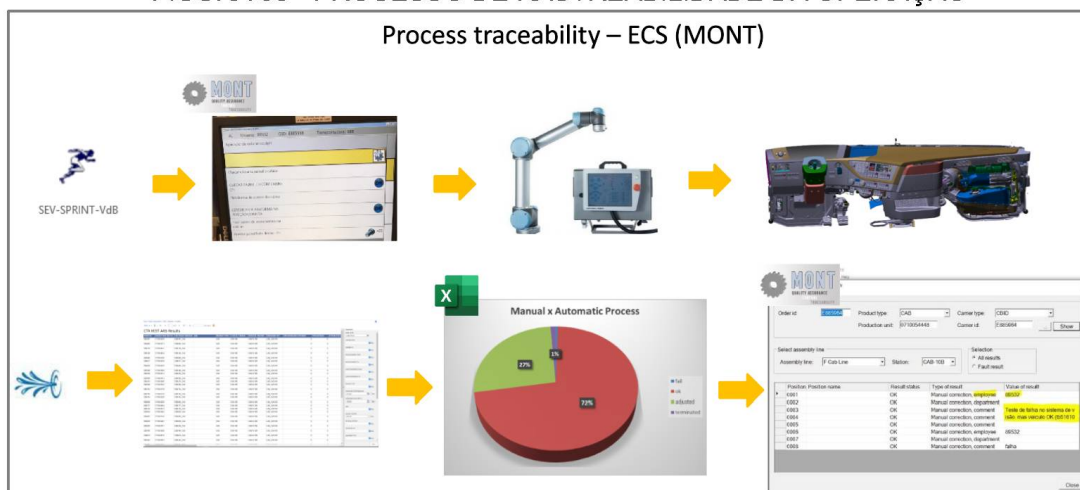
A automação do processo de aplicação de selante, e a integração com os sistemas de controle, permitiram melhoria na rastreabilidade do processo para fins de investigação de problemas e registros da execução da operação. Isto facilita a geração de estatísticas do processo e também permite chegar facilmente até informações pontuais do que ocorreu em cada veículo que o selante foi aplicado.

A FIGURA 103 abaixo demonstra o fluxo deste processo de rastreabilidade. É possível observar desde a geração das instruções no sistema Sprint, a conexão com o conjunto de sistemas (MONT) que comanda o robô colaborativo para aplicar o selante no painel e assim salvar os registros de tal forma que ao identificar uma infiltração de água em algum veículo é possível rastrear quando o processo foi realizado, qual operador estava na estação e qual o resultado da aplicação de selante feita pelo robô.

Mesmo que não represente ganho econômico direto, tal rastreabilidade traz maior confiabilidade e agilidade nas investigações da área da qualidade para manter o alto nível de qualidade esperada de nossos produtos.



FIGURA 98 - PROCESSO DE RASTREABILIDADE DA OPERAÇÃO



Foi com base nestes resultados práticos que o projeto foi considerado aceitável pela diretoria da organização e assim o projeto foi finalizado e entregue. Todo o trabalho executado para esta automação e a sua conexão com temas tão atuais trouxeram outros resultados “intangíveis” que agregaram muito a percepção da organização em relação as novas tecnologias. O item 4 deste trabalho visa demonstrar como as discussões referentes ao projeto trouxeram resultados para a organização.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Além dos resultados econômicos e práticos, este projeto trouxe alguns resultados na cultura e no desenvolvimento de novas soluções. Todas as discussões realizadas em torno do tema de Segurança do Trabalho, sobre o pensamento inovativo no uso de novas tecnologia da Indústria 4.0, sobre a metodologia utilizada para condução do projeto e os ótimos resultados atingidos fizeram com que alguns paradigmas fossem rompidos e algumas reflexões sobre novas estratégias para o planejamento das linhas de produção fossem adotados.

### 4.1. EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA DO TRABALHO COM A ROBÓTICA COLABORATIVA

Assim como mencionado anteriormente neste trabalho, a Confederação Nacional da Indústria escreveu num artigo em 2017 que o uso de “robôs colaborativos é travado pela atual legislação” e que “as NRs (Normas Regulamentadoras) vigentes...anulando os benefícios destes robôs colaborativos”(CNI. Relações trabalhistas no contexto da indústria 4.0. – Brasília: CNI,2017).

Conforme citado na introdução deste trabalho, algumas iniciativas para uso de robótica colaborativa na empresa foram canceladas tendo por preocupação exatamente os mesmos motivos citados pela CNI. Os gestores da empresa não aprovaram o andamento de iniciativas de robótica colaborativa se baseando, principalmente, na forte cultura de segurança do trabalho adotada pela empresa. Isso fez com que as preocupações com as Conformidades com as Normas Regulamentadoras bloqueassem que este tipo de tecnologia, robótica colaborativa, fosse aplicada na empresa.

Somente com o avanço das legislações e a realização de workshops com fornecedores dentro da empresa, foi que alguns gestores passaram a assimilar a possibilidade de uma célula robotizada sem enclausuramento e os benefícios relacionados a isto.

A descrição das etapas iniciais deste projeto, ver os itens 3.1 deste trabalho, demonstram um pouco das preocupações dos gestores que incentivaram a análise de diferentes cenários e compará-los entre si, incluindo ainda a possibilidade de utilizar robótica convencional enclausurada. Demonstrando assim que ainda queriam entender se a robótica colaborativa era realmente a melhor opção para a empresa.

Conforme o projeto progrediu e os seus resultados, estando alinhados com a evolução da legislação de segurança do trabalho, os gestores mudaram sua percepção e acompanharam a evolução das alternativas de automação pela inclusão de robótica colaborativa como uma das melhores alternativas para novas automações a serem aplicadas nas linhas de produção.

Esta mudança de comportamento, saindo da posição de contestadores para adquirir uma postura como incentivadores, os gestores recomendaram a elaboração de uma matéria exclusiva para divulgação do projeto e assim motivar que novas iniciativas sejam criadas com o uso desta tecnologia. A FIGURA 104 abaixo demonstra a matéria (em português) divulgada em todas as fábricas do grupo.

FIGURA 99 - REPORTAGEM INTERNA DE DIVULGAÇÃO DO PRO DO PROJETO

### Primeiro robô colaborativo é implementado na Fábrica de Curitiba

**Times de GTO E&BM Curitiba implementaram na fábrica o primeiro robô colaborativo, que facilita o processo de aplicação de selantes na linha de cabines do FH.**

Article date: 11/26/2020

Veja o vídeo do Robô Colaborativo em funcionamento na linha.

\*Vídeo gravado antes da pandemia

A linha de cabines do FH recebeu o primeiro robô colaborativo da **Universal Robots** do Brasil. Os robôs colaborativos são programados para realizar os trabalhos no mesmo ambiente que os operadores, de forma totalmente segura. É essa tecnologia que chegou aqui para tornar o trabalho de aplicação de selante nos painéis das cabines mais dinâmico e preciso, garantindo a qualidade do processo e o aumento da produtividade.

A ideia de trazer um robô para a fábrica surgiu com o time de Engenharia de Manufatura de E&BM, que através da metodologia aplicada na Área-foco Early Equipment Management, observou a oportunidade de automatizar o processo de aplicação de selantes na linha. Junto com as áreas de Qualidade, Logística, Ambiental, Engenharia de Produto e Compras, desenvolveram workshops e analisaram, junto ao fornecedor, quais eram os requisitos necessários para implementar essa tecnologia.

"O uso de robótica colaborativa em nosso processo era algo que estávamos buscando implementar desde 2015. Foi muito satisfatório participar desse projeto marcante na nossa fábrica. Ele quebrou barreiras e abriu portas para explorarmos mais oportunidades de melhorar nossos processos produtivos", conta **Andre Godoi**, de Engenharia de Manufatura de E&BM.

Time responsável por trazer essa nova tecnologia para a fábrica.

Com o robô colaborativo, todas as variáveis (rotas, velocidade, vacuo e temperatura) de aplicação foram configuradas para manter um padrão, impactando positivamente no resultado final. E para garantir a qualidade, ao final de cada aplicação, ele faz uma inspeção com uma câmera para identificar se houve falha ou não.

Todo o processo é automático e a única interação humano e máquina acontece no início do turno. O operador aponta o código de barras do chassi para o robô, que identifica o veículo que está na estação e faz a rota de aplicação de acordo com suas especificidades.

Com o Robô Colaborativo a aplicação dos selantes na cabine é feita com maior precisão.

Antes da entrada do robô na linha, a aplicação do selante era feita manualmente por uma dupla de operadores, que mudava a cada turno. Por haver troca de pessoas e ser uma atividade de alta repetição de movimentos, a aplicação não era padronizada e precisa, impactando no resultado final. E na entrega técnica, se as cabines não passassem no teste de qualidade de entrada de água, a aplicação do selante precisava ser ajustada, gerando um retrabalho.

Agora, com o robô colaborativo trabalhando lado a lado com o operador, a qualidade da aplicação dos selantes na cabine está mais garantida. "A automatização do processo facilitou nosso dia a dia. Agora, conseguimos garantir uma aplicação mais precisa, o que impacta principalmente na qualidade final", conta **Everton Torres**, operador da Linha FH.

Antes, os operadores aplicavam manualmente o selante.

O robô está em funcionamento permanente na linha desde junho desse ano e, dentre os resultados trazidos, os maiores destaques são a melhor precisão e qualidade, segurança, praticidade no dia a dia e aumento de produtividade. Confira:

- **Economia do uso de selante.** Antes, um tambor de cola rendia 160 aplicações manuais. Hoje, o robô consegue fazer 200 aplicações precisas com a mesma quantidade.
- **Melhoria nas condições ergonômicas dos operadores.** Na situação anterior, eles ficavam sentados em uma cadeira baixa fazendo movimentos repetitivos, agora esse trabalho é realizado pelo robô.
- **Otimização do tempo de aplicação.** O tempo total de aplicação era de cerca de 3 minutos. Hoje, em apenas 1 minuto o robô aplica o selante no painel e faz a verificação de qualidade com a câmera.
- **Eliminação de tempo de retrabalho e maior qualidade.** Depois da implementação do robô, o time conseguiu resolver 100% dos problemas da qualidade de entrada de água na entrega técnica.

Tiago Grzybowski e Andre Godoi, idealizadores do projeto.

"Trabalhar na implementação do robô colaborativo foi uma experiência muito valiosa. Através do EEM, foi possível estabelecer sinergia entre as áreas e realizar com sucesso a implementação de uma nova tecnologia em nossa fábrica. Quebramos um paradigma, relacionado a segurança, e validamos que é possível ter robôs trabalhando de forma segura no meio de pessoas", conclui **Tiago Grzybowski**, de Engenharia de Manufatura de E&BM.

Projetos bem sucedidos como esse, deixam claro que a inovação e tecnologia vieram para ficar. E o próximo passo do time é implementar robôs colaborativos nas demais linhas de montagem da fábrica.

Fonte: Site de notícias da Comunicação Interna da Empresa

## 4.2. CULTURA DE INOVAÇÃO E A INDÚSTRIA 4.0

Apesar de o setor automotivo no Brasil ser reconhecido como o ramo industrial mais adiantado para receber esta onda tecnológica da Indústria 4.0.(FIRJAN,2016), muito ainda há de ser feito para atingir patamares de maturidade tal que a indústria em geral alcance o nível 4.0.

Este projeto de robótica colaborativa se embasou nos preceitos e pilares da Indústria 4.0 para desenvolver uma solução que contribuisse para o atingimento do plano estratégico industrial da empresa em direção a Indústria 4.0.

Como pode-se evidenciar na descrição do projeto, tanto a escolha das tecnologias aplicadas quanto a opção de integração aos sistemas de controle fazem parte dos pilares da Indústria 4.0. A robótica colaborativa com possibilidade de interação com operadores e sendo comandada, ou controlada, pelos sistemas de controle de fábrica e registrando toda sua execução, torna a solução implementada um bom exemplo de iniciativas para aumentar o grau de adesão da empresa à cultura da Indústria 4.0.

A partir dos bons resultados deste projeto, agora existem algumas outras iniciativas com robótica colaborativa sendo investigadas, afim de aumentar o nível de automações controladas por sistemas integrados de controle de fábrica com geração de dados do processo.

## 4.3. METODOLOGIA EEM NA REVISÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

Conforme comentado no item 3 deste trabalho, a metodologia EEM ainda era recente como área foco do Sistema de Produção da empresa, metodologia esta adotada localmente, ou seja, outras fábricas do grupo ainda não adotaram tal metodologia. Por isso, a preocupação em adaptar os conceitos do EEM de WCM (World Class Manufacturing) a realidade do Sistema de Produção adotado pela empresa de forma a estruturar um formato ao mesmo tempo prático e robusto na implementação de novos equipamentos e tecnologias.

O reconhecimento do trabalho executado pelas diversas áreas da empresa, os resultados alcançados e a profundidade das questões abordadas durante o projeto, foram razões para que os gestores indicassem este estudo de caso para ser apresentado na revisão da ferramenta EEM auditores do Sistema de Produção, onde

representantes globais do fórum avaliam e comparam a maturidade de cada fábrica do grupo em relação ao seu Sistema de Produção.

A apresentação foi realizada no dia 13/11/2020 e por conta da pandemia do Covid-19 foi transmitida de forma online para toda a empresa, além de representantes em outras plantas do grupo. A revisão do Sistema de Produção conta com especialistas que avaliam inúmeros critérios de cada área foco. A FIGURA 105 abaixo é um recorte do resultado da revisão citando os comentários dos especialistas, incluindo detalhes em relação a metodologia EEM.

FIGURA 100 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO GLOBAL DO SISTEMA DE PRODUÇÃO VPS

EXECUTIVE SUMMARY		
<b>Strenghts:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Very good VPS motivation even during COVID showing Commitment and Culture firmly established.</li> <li>• Strong VPS organization, with operational ownership. High level engagement.</li> <li>• Golden triangle – core team to strive for excellence.</li> <li>• VPS Office from Material Supply team. To be expanded widely.</li> <li>• “OEE Manual” – <i>to make people ‘think’ and know-what</i> – KEEP IT SIMPLE. This is the ‘essence of VPS’. With digitalization we can save time, but lose important knowledge.</li> </ul>		
FA	Comments	Next Steps
EEM	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Good logic and understanding.</li> <li>+ New equipments quotation considers AM calendar. Need to incl Ledger, and SMP</li> <li>- Improve connection with QC, PD Purchasing and Maintenance.</li> <li>- More detail (eg. Measure Cp, Cpk)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Measure MP Info and added cost per step</li> <li>• Implement checklist and identify which step the problems were identified (frontload)</li> <li>• CD EEM</li> </ul>

Fonte: VPS Review Executive Summary (2020)

Isso demonstrou um avanço na cultura organizacional e alto nível de engajamento dos times locais para entregar equipamentos de forma lógica e estruturada para as linhas de produção. Além disso, auxiliou a encontrar pontos de melhoria da metodologia para ser aplicada em projetos futuros.



## 5. CONCLUSÕES

Mesmo antes da chegada dos conceitos de Indústria 4.0 ser um tema conhecido da maioria das pessoas na empresa, o tema de automação nas linhas de montagem final de veículos têm sido alvo de investigações e iniciativas. No caso da empresa sede deste trabalho, durante anos recentes foram instalados os 2 primeiros robôs convencionais das linhas de montagem, o que foi um “marco” da automação dessas linhas de produção.

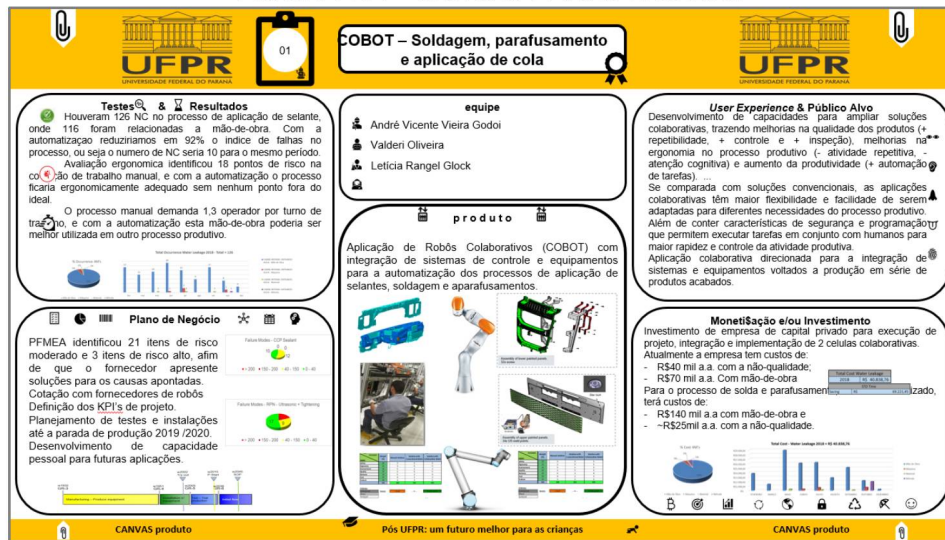
Desde então, alinhados com a estratégia de aumentar a automação dessas linhas, a engenharia de manufatura propôs diversas alternativas para a instalação de robôs colaborativos integrados aos sistemas de controle de fábrica, assim como defendido nos pilares da Indústria 4.0. Após algumas tentativas negadas pela empresa, muito por falta de conhecimento técnico e muito mais ainda por receios de restrições da área de segurança do trabalho, finalmente em 2019 foi aprovada a realização da instalação de robótica colaborativa para aplicação de selante do painel de instrumentos.

Conforme descrito neste trabalho, o projeto passou por muitos questionamentos e bastante resistência das diretorias das áreas de Produção, Manutenção e Segurança do Trabalho. Foram questionados os custos, quais benefícios, a legislação vigente, o alinhamento com outras plantas do grupo, o receio sobre a integração com sistemas, além da capacitação do corpo técnico para trabalhar com tais novas tecnologias.

Todos estes questionamentos fizeram com que os resultados obtidos fossem ainda maiores e mais robustos. Pois, afim de mitigar possíveis riscos aliados aos questionamentos, toda a equipe do projeto buscou seguir a metodologia escolhida e suas ferramentas de auxílio para que as decisões fossem bem embasadas.

Assim sendo, desde a conceituação inicial da proposta do uso de robótica colaborativa que pôde ser representada pelo canvas demonstrado na FIGURA 106 abaixo, até a conclusão do projeto e seu registro no sistema de controle de Kaizens da empresa (ver FIGURA 107 abaixo), muito material de análises foram produzidos pelos integrantes do time do projeto para que os resultados fossem atingidos.

FIGURA 101 - CANVAS PARA PITCHDAY



Fonte: dos Autores

FIGURA 102 - KAIZEN PARA REGISTRO DO PROJETO

STANDARD KAIZEN																																																																																																																																																								
<input checked="" type="checkbox"/> Sequência <input checked="" type="checkbox"/> Qualidade <input checked="" type="checkbox"/> People Development <input checked="" type="checkbox"/> Focus Improvement <input checked="" type="checkbox"/> Meio Ambiente <input type="checkbox"/> Meio Ambiente <input type="checkbox"/> Manutenção Profissional <input type="checkbox"/> Manutenção Adm. <input type="checkbox"/> VPP (Voluntária Organização) <input type="checkbox"/> Inspecção <input type="checkbox"/> BPM																																																																																																																																																								
<b>PROJETO</b> Automação robótica da aplicação de selante - painel de instrumentos			<b>PROCESSO / ÁREA</b> Aplicação de selante / painel de instrumentos			<b>CC</b> 13942																																																																																																																																																		
<b>LÍDER KAIZEN</b> André Godoi			<b>PARTICIPANTES</b> Grzybowski / Valderi Oliveira / Elias S. / Edison K. / Arilson N. / Hamilton M. / Aglailton B. / Pro																																																																																																																																																					
<b>DATA</b> 10/09/2020																																																																																																																																																								
<b>1. INCÔMODO / OPORTUNIDADE (Problema - Sketch)</b> Atualmente no caminho FH na linha de cabines F, estação 430, C30, existe a aplicação selante na chapa do painel de instrumentos a qual faz a vedação entre chapa interna e chapa externa LE e LD no frontal da cabine. Por ser realizada de forma manual, esta aplicação apresenta muitos problemas de repetibilidade com relação a qualidade no cordão de cola que leva a um excesso de consumo de cola, que compromete o inventário e abastecimento de cola na Volvo. Há casos também que a ausência de selante devido ao gabarito que é utilizado nas pistolas ocasiona entrada severa de água no frontal, com alto tempo de reajuste.																																																																																																																																																								
<b>2. MAPA ESTADO ATUAL</b> Atualmente temos 2 operadores responsáveis em aplicar o cordão manualmente e simultâneo com o auxílio de 2 conjuntos de pistolas ligado ao painel de cola SCA, 2 gabaritos de acrílico LE e LD fixados a estrutura principal que é o guia responsável em aplicar a rota da cola. As pistolas são fixadas em guias lineares e balancim na estrutura principal que permite o manuseio da pistola.																																																																																																																																																								
<b>3. ANÁLISE DA CAUSA RAIZ</b> Por ser totalmente manual e com muitas interferências mecânicas, este processo exige melhor repetibilidade do processo e atualmente como não temos esta condição ocasiona falhas de aplicação chapa da cabine ou mesmo a falta do componente na Volvo. Atualmente não temos boa rastreabilidade do processo manual, o que dificulta a investigação dos problemas.																																																																																																																																																								
<b>4. META / OBJETIVO / MAPA DO ESTADO FUTURO</b> Reduzir em 100% a variação do processo, através da introdução de um robô colaborativo com sistema de visão conectado ao MONT. Aumentar em 20% a quantidade de veículos produzidos por cada tambor de selante. Reduzir em 100% índices de entrada de água no frontal por causa de má aplicação de selante. Reduzir em 100% riscos ergonômicos inerentes da aplicação manual.																																																																																																																																																								
<b>5. PLANO DE AÇÃO (Cronograma)</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th>AÇÃO</th> <th>Resp.</th> <th>2019 Jul</th> <th>2019 Ago</th> <th>2019 Set</th> <th>2019 Out</th> <th>2019 Nov</th> <th>2019 Dez</th> <th>2020 Jan</th> <th>2020 Fev</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Realizar pré-estudo de viabilidade</td><td>AGRES/FG</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>Definição do escopo do projeto</td><td>AG/FG</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>Solicitação de verba</td><td>TG/RS/NC</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>RFQ - definição fornecedor</td><td>TG</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>Design review - projeto mecânico</td><td>AG/AN</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>Design review - projeto elétrico</td><td>AG/BN</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>Design review - projeto software</td><td>AG/FG</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>Instalação</td><td>AG/FG</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>Ajustes e validação</td><td>AG/FG</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>Documentação e treinamento</td><td>AG/FG</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>SoP - Entrega técnica</td><td>AG/FG</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>Fechamento do Projeto</td><td>AG/FG</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>										ITEM	AÇÃO	Resp.	2019 Jul	2019 Ago	2019 Set	2019 Out	2019 Nov	2019 Dez	2020 Jan	2020 Fev	1	Realizar pré-estudo de viabilidade	AGRES/FG									2	Definição do escopo do projeto	AG/FG									3	Solicitação de verba	TG/RS/NC									4	RFQ - definição fornecedor	TG									5	Design review - projeto mecânico	AG/AN									6	Design review - projeto elétrico	AG/BN									7	Design review - projeto software	AG/FG									8	Instalação	AG/FG									9	Ajustes e validação	AG/FG									10	Documentação e treinamento	AG/FG									11	SoP - Entrega técnica	AG/FG									12	Fechamento do Projeto	AG/FG								
ITEM	AÇÃO	Resp.	2019 Jul	2019 Ago	2019 Set	2019 Out	2019 Nov	2019 Dez	2020 Jan	2020 Fev																																																																																																																																														
1	Realizar pré-estudo de viabilidade	AGRES/FG																																																																																																																																																						
2	Definição do escopo do projeto	AG/FG																																																																																																																																																						
3	Solicitação de verba	TG/RS/NC																																																																																																																																																						
4	RFQ - definição fornecedor	TG																																																																																																																																																						
5	Design review - projeto mecânico	AG/AN																																																																																																																																																						
6	Design review - projeto elétrico	AG/BN																																																																																																																																																						
7	Design review - projeto software	AG/FG																																																																																																																																																						
8	Instalação	AG/FG																																																																																																																																																						
9	Ajustes e validação	AG/FG																																																																																																																																																						
10	Documentação e treinamento	AG/FG																																																																																																																																																						
11	SoP - Entrega técnica	AG/FG																																																																																																																																																						
12	Fechamento do Projeto	AG/FG																																																																																																																																																						
<b>6. MONITORAMENTO</b> * Verificar a eficácia do processo.																																																																																																																																																								
<b>6.1. CÁLCULO DO BENEFÍCIO / CUSTO</b> $B/C = 1,04$ Investimentos = R\$108.500,00/ano Benefícios diretos = R\$108.500,00/ano Ver aba B/C no arquivo excel para detalhamentos																																																																																																																																																								
<b>7. PADRONIZAÇÃO</b> Trabalho padrão atualizado Treinamento da célula automatizada realizado, in loco e virtualmente (via skype)																																																																																																																																																								
<b>7.1. APROVAÇÃO / EXPANSÃO HORIZONTAL</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Área</th> <th>Pré Estudo</th> <th>Acelere Final</th> <th>Expansão?</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Segurança</td> <td>OK</td> <td>OK</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO</td> </tr> <tr> <td>Qualidade</td> <td>OK</td> <td>OK</td> <td rowspan="4">Estação/Área</td> </tr> <tr> <td>Meio Ambiente</td> <td>OK</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Engemam</td> <td>OK</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Processo</td> <td>OK</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Produção</td> <td>OK</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Projeto registrado?</td> <td colspan="2"><input checked="" type="checkbox"/> SIM</td> <td>B/C RATIO</td> </tr> <tr> <td>Data</td> <td colspan="2"></td> <td>1,04</td> </tr> <tr> <td>Assinatura</td> <td colspan="3"></td> </tr> </tbody> </table>										Área	Pré Estudo	Acelere Final	Expansão?	Segurança	OK	OK	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Qualidade	OK	OK	Estação/Área	Meio Ambiente	OK	OK	Engemam	OK	OK	Processo	OK	OK	Produção	OK	OK		Projeto registrado?	<input checked="" type="checkbox"/> SIM		B/C RATIO	Data			1,04	Assinatura																																																																																																													
Área	Pré Estudo	Acelere Final	Expansão?																																																																																																																																																					
Segurança	OK	OK	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO																																																																																																																																																					
Qualidade	OK	OK	Estação/Área																																																																																																																																																					
Meio Ambiente	OK	OK																																																																																																																																																						
Engemam	OK	OK																																																																																																																																																						
Processo	OK	OK																																																																																																																																																						
Produção	OK	OK																																																																																																																																																						
Projeto registrado?	<input checked="" type="checkbox"/> SIM		B/C RATIO																																																																																																																																																					
Data			1,04																																																																																																																																																					
Assinatura																																																																																																																																																								

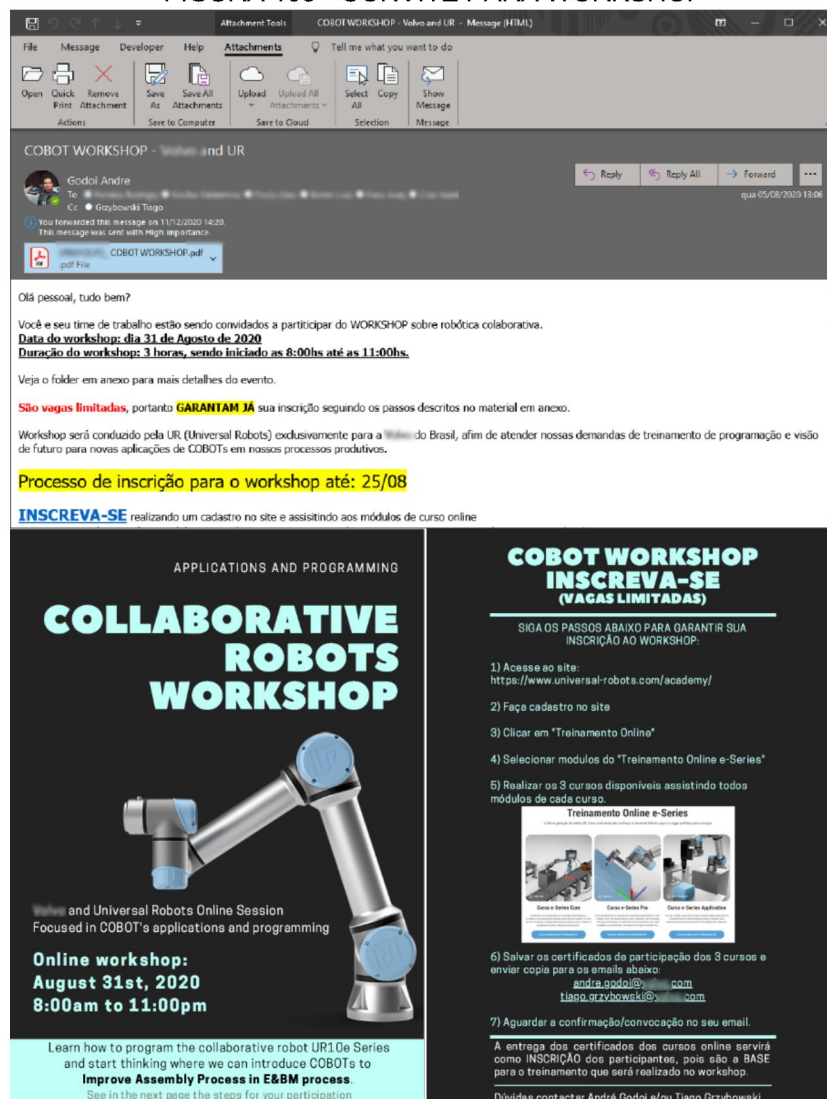
Fonte: dos Autores

Além dos resultados práticos obtidos com a implementação desta tecnologia na linha, muitos foram os resultados “colaterais” na cultura e na estratégia da empresa. Assim como demonstrado no item 4 deste trabalho, alguns temas específicos evoluíram bastante com as discussões durante este projeto, podemos citar os principais exemplos como: a Segurança do Trabalho, a Cultura de Inovação, os objetivos para a Indústria

4.0 e a importância da Metodologia de condução dos projetos industriais focados em equipamentos.

Tal evolução na cultura organizacional da empresa, fez com que muitos gestores demonstrassem interesse no tema e assim nos solicitaram um treinamento de capacitação em robótica colaborativa. Em parceria com a fabricante do robô, elaboramos um treinamento em formato workshop online (devido à pandemia) para que os profissionais da empresa recebessem treinamento online e participassem do evento online para aprofundar o conhecimento obtido. A FIGURA 108 abaixo demonstra o convite passado por email para as lideranças das áreas afim de seus funcionários poderem se inscrever e realizar os treinamentos antecipadamente, para assim poderem também participar do workshop online.

FIGURA 103 - CONVITE PARA WORKSHOP



Fonte: dos Autores

Workshop teve a participação de pessoas de diversas divisões da empresa, cerca de 50 pessoas das áreas de: engenharia de produção de caminhões e onibus, engenharia de solda e pintura, engenharia de manutenção, robotistas, treinamento técnico e alguns de seus gestores.

Isso promoveu ainda mais as discussões sobre novas possibilidades de aplicação de robótica colaborativa e fez com que o tema automação integrada a sistemas fosse muito mais difundido em diversos níveis da organização da empresa. Atingindo até mesmo o SVP (Señior Vice President) que pessoalmente fez postagens em rede social com vídeo do equipamento em uso (ver FIGURA 109 abaixo) afim de demonstrar o importante “passo no desenvolvimento tecnológico de nossa fábrica” e como isso gera “novas competências e oportunidades”.

FIGURA 104 - POSTAGEM SOBRE O PROJETO



Fonte: Rede Social no Instagram

Tais competências e oportunidades citadas, incluem os planos de novos projetos já em andamento na empresa para adquirir e instalar mais robôs colaborativos. Uma melhor descrição de tais iniciativas está descrita no item 5.1 deste trabalho.



Tantos resultados, tantas discussões e tantos reconhecimentos internos alcançados com tal projeto instalado na linha de produção fizeram com que este estudo de caso nos proporcionasse a oportunidade de demonstrar que iniciativas bem direcionadas, se conduzidas por meio de metodologia robusta e envolvimento de áreas multifuncionais podem quebrar barreiras bastante fortes. Afinal, desde que deu-se início ao projeto, muitas competências foram sendo desenvolvidas e muitos esclarecimentos foram sendo necessários para evoluir de acordo com as legislações e cultura organizacionais para que as preocupações se reduzissem e para que os resultados práticos alavancassem os resultados culturais.

É possível afirmar com grande assertividade que, no momento que o projeto foi apresentado na empresa e assim aprovado para ser estudo de caso durante o curso da Pós-Graduação em Engenharia Industrial 4.0 na UFPR (Universidade Federal do Paraná), poucos podiam imaginar o tamanho dos desafios até sua implementação. A imagem 110 abaixo demonstra o dia em que o projeto, já em fase inicial, foi apresentado como parte do “PitchDay” do curso de pós graduação da UFPR em Engenharia Industrial 4.0, no dia 31/08/2019.

FIGURA 105 - APRESENTAÇÃO DO PROJETO NO PITCHDAY UFPR



Fonte: dos Autores

Atualmente na empresa, a robótica colaborativa é vista como uma das possíveis estratégias de automação para as linhas de montagem final de veículos. Tanto que iniciativas e pré-estudos estão em andamento e gestores das áreas de Engenharia de Produção buscam incentivar a criatividade dos seus funcionários em prol de buscar encontrar mais soluções inovadoras com uso de tecnologias e sistemas



integrados que ajude a empresa e alcançar maiores resultados e que coloque a empresa no rumo de alcançar os objetivos estratégicos voltados para a Indústria 4.0.

### 5.1. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Durante a realização do projeto e após sua instalação na linha de produção, diversas análises e discussões dos resultados surgiram ao perceberem que o uso de novas tecnologias e sistemas integrados podem gerar soluções que promovem transformação na forma de produzir e controlar a produção. Tais percepções fizeram com que a mentalidade comum em relação ao tema Indústria 4.0 e suas tecnologias fosse abordada a partir daí como uma motivação para a geração de mais inovações para a empresa, e isso serviu para apontar sugestões para a continuidade em novos projetos envolvendo robótica colaborativa integrada a sistemas de controle de fábrica. Algumas dessas sugestões são listadas na sequência:

- Aplicação de cola do parabrisas para segmento de caminhões semi-pesados
  - Projeto em fase inicial para viabilizar o uso de robótica na aplicação de cola do pára-brisas da linha de caminhões semi-pesados, atualmente este serviço é executado de forma manual e representa um dos gargalos de produção da linha de montagem de cabines, além da preocupação ergonômica do posto de trabalho. (ver imagem animada na FIGURA 111 da simulação realizada em laboratório)

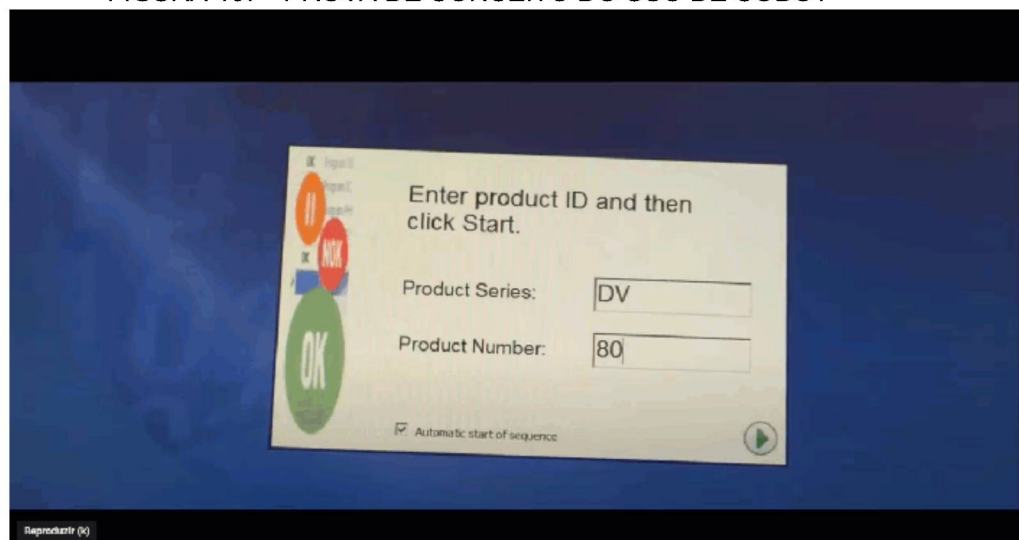
FIGURA 106 - SIMULAÇÃO DE APLICAÇÃO DE COLA EM PARABRISAS (imagem animada)



Fonte: dos Autores

- Central de programação de unidades eletrônicas dos veículos
  - Conceito já testado em outra fábrica do grupo, pré estudo em andamento com time de várias fábricas afim de desenvolver solução para central de programação das unidades eletrônicas ser executada com uso de robotica colaborativa. A FIGURA 112 abaixo é parte do vídeo que demonstra o conceito do estudo em andamento onde o robô colaborativo abastece o equipamento de programação de unidades eletrônicas.

FIGURA 107 - PROVA DE CONCEITO DO USO DE COBOT



Fonte 2: Automated SWDL (2017) - acessível em <https://www.youtube.com/watch?v=8AH4lqr-wVc&feature=youtu.be>

- Calibração de sensores dos veículos
  - Ainda em fase de estudos, ideia é que robôs colaborativos posicionem os equipamentos de calibração dos sensores dos veículos de forma dinâmica baseada nos veículos que passam na linha de produção, sem necessidade dos operadores terem de realizar preparação dos equipamentos de calibração.

Além destas iniciativas, muitas outras ideias de melhorias tem sido discutidas para que se tornem futuros projetos de automação com uso de robótica colaborativa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

M. HERMANN, T. PENTEK AND B. OTTO, "**Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios**," 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2016, pp. 3928-3937, doi: 10.1109/HICSS.2016.488.

RÜßMANN M., LORENZ M., GERBERT P., WALDNER M., ENGEL P., HARNISCH M., JUSTUS J., ET AL., 2015. **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries**. Boston Consulting Group (BCG), pp.1-14. Disponível em:

[https://www.bcg.com/pt-](https://www.bcg.com/pt-br/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries)

[br/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcg.com/pt-br/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries)

MANUFACTURING'S NEXT ACT, MCKINSEY & COMPANY, June 2015. Disponível em: [http://www.mckinsey.com/insights/manufacturing/manufacturings\\_next\\_act](http://www.mckinsey.com/insights/manufacturing/manufacturings_next_act)

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Relações trabalhistas no contexto da indústria 4.0 / Confederação Nacional da Indústria**. – Brasília : CNI, 2017

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. Frankfurt, 2013.

SISTEMA FIRJAN. **Panorama da Inovação: Indústria 4.0**. Abril, 2016. Disponível em: <http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557D8802C639A4&inline=1> . Acesso em: 30 maio 2021.

B&R. **Industry 4.0 in action**. 2014. Disponível em: <https://www.brautomation.com/pt-br/empresa/customer-magazine/industry-40-br/> . Acesso em: 15/06/2021.

DICKENS, P.; KELLY, M.; WILLIAMS, J. R. **What are the significant trends shaping technology relevant to manufacturing**. Foresight Government Office for Science, Future of Manufacturing Project, Evidence Paper, v. 6, 2013.

ROBOS COLABORATIVOS: **Realidade Indústria 4.0**. 02 Março, 2021. Disponível em: <https://infrafm.com.br/Textos/1/21627/Robs-colaborativos-j-so-realidade-na-Indstria-40>. Acesso em: 2 Setembro 2021.

FEEB: **O Brasil cada vez mais distante da revolução 4.0**. 29 Julho, 2019. Disponível em: <http://feebbase.com.br/site/imagem-destaque/brasil-esta-cada-vez-mais-distante-da-revolucao-4.0>. Acesso em: 2 Setembro 2021.

COBOTSGUIDE: **Exemplos de modelos de Cobots existentes no mercado**. 29 Julho, 2019. Disponível em: < <https://cobotsguide.com/news/#articles> > . Acesso em: 2 Setembro 2021.

ABDI: **Perfil colaborativo**. 08 Agosto, 2018. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/postagem/perfil-colaborativo-leva-producao-de-robos-industriais-a-patamar-inedito> . Acesso em: 31 Agosto 2021.

CLIVER. **Faça um tour pela Cliever e conheça nossas Impressoras 3D**. Disponível em: Acesso em 10 Jul. 2021.

IAR: **Reforço super inteligente**. Janeiro de 2017 – 115, Disponível em: <[http://iar.eng.br/imprensa/omu\\_115\\_produtividade.pdf](http://iar.eng.br/imprensa/omu_115_produtividade.pdf) >, Acesso em 05/09/2021.

BALDASSARI, P., & al, e. (2017). **Industry 4.0: preparing for the future of work**.

**Collaborative Robots Buyer's Guide**. (23 de 03 de 2018). Disponível em: <https://robotiq.com/> Acesso em: 20 jul.2021.

BERTULUCCI, Cristiano Silveira. **"O Que é Indústria 4.0 e Como Ela Vai Impactar o Mundo"**. Disponível em: <[www.citisystems.com.br/industria-4-0/](http://www.citisystems.com.br/industria-4-0/)>. Acesso em: 26 Jul.2021.

COMPUTER HISTORY. **"First transistor (replica), Bell Labs, 1947"**. 2016.  
Disponível em: [www.computerhistory.org/revolution/artifact/273/1364](http://www.computerhistory.org/revolution/artifact/273/1364).  
Acesso em: 20 jul.2021.

EXAME. **"Como construir uma fábrica do futuro hoje"**. 2016.  
Disponível em: [https://exame.com/tecnologia/como-construir-uma-fabrica-do-futuro-  
hoje/](https://exame.com/tecnologia/como-construir-uma-fabrica-do-futuro- hoje/) Acesso em: 19 ago,2021.

GARCIA, Pedro. **"RobôsAutónomos"** 2016.  
Disponível em: <https://pedrogarcia12av1.wordpress.com/about/robos-autonomos/>.  
Acesso em: 17 ago.2021.

POLLUX. Linha de montagem, Robótica Colaborativa, Internet Industrial. Disponível em: <https://www.pollux.com.br/blog/tag/robo-colaborativo/> Acesso em 10 Jul. 2021.

WANNASUPHOPRASIT W. **"Cobot Control"** In Proceeding IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA, vol. 4, Abril de 1997, p. 3571 –3576; ISSN: 10504729;

AKELLA P., PESHKIN M., COLGATE E., WANNASUPHOPRASIT W., NAGESH N., WELLS J., HOLLAND S., PEARSON T. e PEACOCK B. **"Cobots for the automobile assembly line"** In Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA, vol. 1, Maio de 1999, p. 728 – 733, ISSN: 10504729;



Alguns exemplos. Elas devem ser listadas em ordem alfabética.

AUTOR, X. Y.; CICLANO, A. B. **Nome do livro em negrito**. Edição. Local: Editora, ano. (exemplo de citação de livro todo).

AUTOR DAPARTE DO LIVRO, Y. X.; AUTOR2, A. B. Título da parte do livro. In: AUTOR DA OBRA TODA. **Título da obra**. Edição. Local: Editora, ano. Número de pgs inicial-final da parte. (exemplo de citação de parte do livro).

AUTOR1, X. Y.; AUTOR2, A. B. **Título da tese**. Ano da defesa. Número de folhas ou páginas. Tese, dissertação ou monografia – Unidade de Ensino, Instituição, Local, ano. (exemplo de citação de tese e dissertação).

AUTOR1, X. Y.; AUTOR2, A. B. Título do trabalho. In: NOME DO EVENTO, número do evento se houver, ano, Local. **Título (dos anais, resumos, proceeding, entre outros)**, Local de publicação: Editora, ano de publicação. Número de página inicial-final da parte referenciada. (exemplo de citação de artigo de congresso).

AUTOR1, X. Y.; AUTOR2, A. B. Título do artigo. **Título da revista**, Local de publicação, número do volume, número do fascículo, número da página inicial-final do artigo, ano. (exemplo de citação de artigo científico).

ÓRGÃO NORMALIZADOR. **Título da norma**: subtítulo, Local, ano. (exemplo de citação de norma técnica).

AUTOR (se houver). **Título ou nome do site (se houver)**. Disponível em: <endereço eletrônico>. Acesso em: dia mês ano. (exemplo de citação site da internet).